
ÓRGANO DE DIVULGACIÓN DE LAS DIVISIONES DE INGENIERÍA, CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Y CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
EPISTEMUS
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD
ISSN: 2007-4530
UNIVERSIDAD DE SONORA, JUNIO 2015, NÚMERO 18
UNIVERSIDAD DE SONORA
TODO LO ILUMINAN
1942
"El saber de mis hijos hará mi grandeza"
Conocimiento y aplicación de la física en la ciencia y la tecnología
INVESTIGACIÓN
• Comportamiento viscoelástico lineal de soluciones acuosas de ctab/nasal.
• El género afecta las propiedades contráctiles del músculo sóleo en diabetes inducida experimentalmente en ratas.
DESDE LA ACADEMIA
• Plasmónica.
• Presión en medios granulares en silos: experimentos para un curso de fluidos.
POLÍTICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
• Polimorfismo de liposomas.
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD
• Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados.
SUPLEMENTO
Alimento completo sin lactosa
Vainilla
Indexada en:
Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
latindex
ÍNDICE DE REVISTAS LATINOAMERICANAS EN CIENCIAS
PERIÓDICA



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

UNIDAD REGIONAL CENTRO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SALUD ESPECIALIZACIÓN EN INMUNOHEMATOLOGÍA DIAGNÓSTICA

Objetivo General

Formar recursos humanos con capacidad para prestar servicios de diagnóstico hematológico e inmunológico, capaces de proponer alternativas para la investigación de problemas de diagnóstico así como para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de información científica.

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

Objetivo General

Formar recursos humanos con capacidad para realizar investigaciones de alto nivel en el campo de la salud y para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de resultados, con el interés de que su formación tenga un impacto decisivo en el perfil epidemiológico poblacional.

DOCTORADO EN CIENCIAS (QUÍMICO BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD)

Objetivo General

Formar personal altamente calificado en las áreas de química, biología y ciencias de la salud, con una visión interdisciplinaria, que contribuya a solventar la problemática de salud.

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

Objetivo General

Formación de personal calificado y competente de alto nivel que sea capaz de resolver problemas alimentarios en los sectores de investigación, educación, de los sectores público y privado, vinculados con el manejo, almacenamiento, conservación y procesamiento de granos o productos marinos.

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

Objetivo General

Formación de personal de alto nivel académico que sea capaz de generar conocimiento, a través del planteamiento, diseño y desarrollo de proyectos de investigación relevantes al desarrollo de la ciencia de los alimentos y a la resolución de la problemática de la producción y procesamiento de alimentos

POSGRADO EN BIOCIENCIAS (MAESTRÍA)

Objetivo general

Formar recursos humanos con una visión amplia de su área de especialidad y con capacidad de identificar problemas y procesos básicos y aplicados en las diferentes disciplinas de las ciencias biológicas. Tendrá la capacidad de desarrollarse en áreas emergentes de las biociencias, combinando diferentes aproximaciones, conceptualizaciones y niveles jerárquicos de la biología y áreas de especialización del posgrado

POSGRADO EN BIOCIENCIAS (DOCTORADO)

Objetivo General

Formar investigadores de alto nivel con una amplia capacidad de realizar investigación independiente, la cual contribuya significativamente a la generación, innovación y adaptación de conocimientos científicos y/o tecnológicos en su área de especialización.

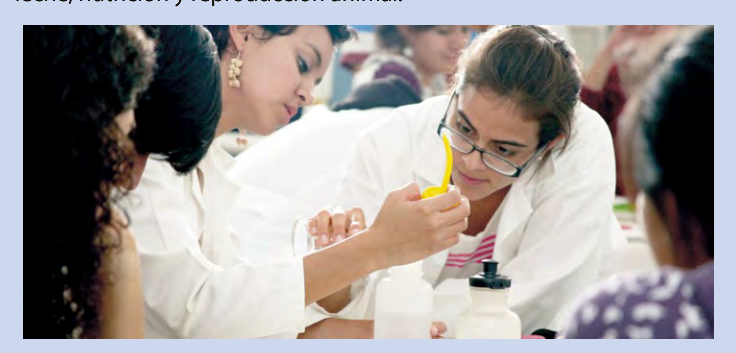
Posgrados no incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS (No incluida en la padrón)

Objetivos Generales

1. Formar profesores investigadores con una alta preparación académica y capacidad innovadora, capaces de generar y transmitir el conocimiento científico; aptos para crear y desarrollar proyectos y programas de investigación científica y tecnológica, tendientes a mejorar la productividad agropecuaria nacional.

2.- Preparar personal altamente capacitado para ejercer labores docentes de licenciatura y posgrado en las Instituciones de Educación Superior dedicadas a la generación de conocimientos y tecnología en las áreas de fisiología vegetal, genética y mejoramiento de plantas, manejo de agostaderos, praderas irrigadas, producción de carne y leche, nutrición y reproducción animal.



http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Rosales y Blvd. Luis Encinas., Edificio 10k, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-62 y 259-22-59



CONTENIDO

EPISTEMUS



UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS. Año 9, No. 18, enero-junio 2015, es una publicación semestral arbitrada y es editada por la Universidad de Sonora a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo Sonora; Tel. (662) 2592105, (662)2592183 ext. 2650, www.epistemus.uson.mx,revista.epistemus@correom.uson.mx. Editor ejecutivo: Dr. José Luis Díaz Gómez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-101210334800-102. ISSN: 2007-4530 otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido: 15747, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Color Express de México, S. A. de C. V., 12 de octubre No. 130, Col. San Benito, C.P. 83190, Hermosillo, Sonora; este número se terminó de imprimir el 30 de junio del 2015, con un tiraje de 1000 ejemplares.

Información del contacto institucional de la publicación: Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. (662)2592155, correo electrónico: revista.epistemus@correom.uson.mx, At'n. Dr. José Luis Díaz Gómez, Editor ejecutivo.

EPISTEMUS está Indexada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIODICA) y en el portal especializado en revistas científicas y académicas publicadas en América Latina y el Caribe (biblat).

REVISTA EPISTEMUS
Universidad de Sonora
Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y
Rosales, s/n, Col. Centro, C.P. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.
Teléfono: (662) 2592155.
Correo: revista.epistemus@correom.uson.mx
Atn. Dr. José Luis Díaz Gómez
Editor Ejecutivo



EDITORIAL



El Comité Editorial de la Revista Epistemus ha conjuntado esfuerzos con el apoyo de las tres divisiones que sostienen la publicación, para que los resultados de las investigaciones y estudios de docencia, se publiquen a un buen nivel académico.

La pretensión de los directores de división, es que la revista dé los pasos necesarios para ser incluida en un futuro no muy lejano, en un índice o catálogo de revistas de prestigio nacional como el de Conacyt.

Por ello, este Comité cuida no sólo la forma de los artículos, sino especialmente el fondo o contenido, invitando a los profesores, alumnos y tesistas a enviar colaboraciones, las cuales son arbitradas con rigurosidad científica por pares académicos, tanto internos como externos a la Universidad de Sonora, buscando tengan la experiencia probada en las diferentes áreas.

Por otro lado, no se descuidan los artículos del tipo de divulgación y difusión de la ciencia, los cuales tratan temas de diverso interés, con un lenguaje apropiado para todo público.

En este número 18 la revista EPISTEMUS reconoce la incansable participación de la mujer en el campo de la ciencia, pudiendo establecer como punto de partida el año 1903 cuando Marie Curie recibe el premio Nobel de Física.

En el presente volumen de Epistemus, encontrarán 9 artículos en la sección de Investigación, 3 en Desde la Academia, 1 en Políticas de Ciencia y Tecnología, y 2 en la de Ciencia, Tecnología y Sociedad, que dan un total de 15 textos.

En la sección de Investigación se incluyen varios textos del área de las Ciencias Exactas y Naturales, como Estimación de la incertidumbre estándar combinada y expandida en titulaciones ácido-base, Comportamiento viscoelástico lineal de soluciones acuosas de ctab/nasal, Creencias y concepciones de los profesores de secundaria sobre la enseñanza de las isometrías. El caso de la reflexión, Modelos matemáticos para pruebas de bombeo en acuíferos. El Caso del campo experimental de la UNISON. Asimismo, aparecerán varios de la rama en Ciencias Biológicas y de la Salud, como El género afecta las propiedades contráctiles del músculo sóleo en diabetes inducida experimentalmente en ratas, de la rama en Ingeniería, como Eliminación de cromo de efluentes ácidos, mediante adsorción con wollastonita natural y de la rama en geología con la aportación Shale Gas - los yacimientos de hidrocarburos no convencionales origen, exploración y explotación. Su potencial en México.

En el apartado Desde la Academia, se publican los interesantes artículos de Física: Presión en Medios Granulares en Silos: Experimentos para un Curso de Fluidos y Plasmónica, así como un artículo del área de matemáticas: Frecuencia del uso de suplementos alimenticios en usuarios de gimnasios comerciales.

En la sección de Políticas de Ciencia y Tecnología presentamos el artículo en la rama de Física: Polimorfismo de liposomas.

En la última sección llamada Ciencia, Tecnología y Sociedad, estarán dos artículos del área de ingenierías, uno sobre Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados, y otro sobre Dar voz a los moluscos, una revisión de Shells on a desert shore: mollusks in the seri world.

BASES PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN EPISTEMUS

PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN LA REVISTA EPISTEMUS

La educación, la ciencia y tecnología son consideradas como pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país; por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia y tecnología, la cultura científica y la sociedad, proyectos de vinculación y extensión de la cultura y los servicios.

OBJETIVO

Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en la Universidad de Sonora con la finalidad de fortalecer la educación, la cultura científica, tecnológica y de la salud de los diversos sectores de la sociedad.

ÁREAS GENERALES DE CONOCIMIENTO

- Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.
- Ciencias exactas y naturales: geología, física, matemáticas, electrónica y ciencias de la computación.
- Ciencias biológicas y de la salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuacultura, salud, biología, agricultura, entre otras.

DIRIGIDA A

Los Sectores relacionados con la educación y la investigación, empresarios, dependencias gubernamentales, estudiantes de nivel medio superior, superior y posgrado, y sociedad en general.

CONTENIDO DE LA REVISTA

Artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, información sobre ciencia y tecnología, eventos relevantes, convocatorias, noticias sobre educación y cultura.

ENFOQUE DE LOS ARTÍCULOS

- Los artículos reflejarán lo más trascendente de la producción académica, los proyectos de ciencia, tecnología y sociedad que se realizan en la universidad y en particular en las tres divisiones académicas.
- Los artículos deberán de hacer mención de la trascendencia de lo expuesto, su impacto en la solución de problemáticas específicas de la sociedad, del sector industrial, de la educación, de la cultura, entre otras.
- Se incluirán artículos que integren y reflexionen en torno a la ciencia, la tecnología y la sociedad, que aporten elementos precisos que permitan profundizar en el análisis y proponer esquemas de colaboración entre los que producen el conocimiento y los beneficiarios o usuarios potenciales.
- El lenguaje escrito debe ser de buen nivel, con el rigor científico pero de divulgación, comprensible para un público no especializado de nivel bachillerato, empresarios y profesionistas de otras especialidades.

ARBITRAJE

La revista es arbitrada en varios niveles. Comprende dos aspectos:

- Arbitraje académico: En todos los casos, los artículos serán arbitrados por pares académicos internos y/o externos a la Universidad de Sonora.
- Arbitraje de divulgación: Se evaluará el lenguaje y el significado de lo expuesto para que no pierda la idea original al tratarlos como artículos de divulgación. Participan en el arbitraje de académicos, expertos en divulgación científica.

* Se les sugerirán adecuaciones y modificaciones para que sean tomadas en cuenta por los autores. En todos los casos se definirán los tiempos para las correcciones.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

Recepción

El artículo deberá ser original e inédito y se hará llegar de manera electrónica al correo: revista.epistemus@correom.uson.mx. Los autores deberán firmar y enviar una carta de originalidad junto con el artículo al Comité Editorial (descargar carta). El comité editorial hará una primera revisión del artículo, si cumple con el formato de la revista, se enviará al menos a 2 árbitros académicos. Los arbitrajes se enviarán a los autores, quienes reenviarán los artículos corregidos. El comité editorial decidirá qué artículos se publicarán en cada número. Los autores de los artículos aceptados, deberán firmar una carta de cesión de derechos de autor y enviarla por e-mail al comité editorial.

Título

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, negrita espacio sencillo, centrada.

Autores, grado académico, afiliación, correo electrónico

Incluir los datos curriculares de los autores, especificando su grado académico, institución para la cual labora y correo electrónico. Respecto a los autores, el primero será el autor y el resto serán coautores, siendo un máximo de cinco personas. No se aceptará la inclusión de nuevos coautores después de la recepción del artículo.

Resumen

Los artículos deberán contener un resumen de un máximo de 150 palabras, con letra cursiva. En los artículos de investigación, el resumen será en el idioma español y en el inglés.

Palabras clave

Incluir de 3 a 5, palabras clave separadas por comas. En los artículos de investigación, las palabras claves serán en el idioma español y en el inglés.

Contenido

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, normal, a doble espacio, justificada. La extensión de los artículos será de un máximo de 3,300 palabras y, hasta 15 páginas incluyendo el texto, figuras y citas bibliográficas, en Word con márgenes de 2.5 cm por lado. Los ensayos, reseñas e información de eventos académicos serán de un máximo de 1,500 palabras. Para las expresiones matemáticas debe usarse el editor de ecuaciones y deberán estar numeradas consecutivamente entre paréntesis. No incluir notas en pie de página.

Secciones

El autor señalará en qué sección de la revista desea se publique su artículo (descargar secciones). Cuando la colaboración sea en la modalidad de ensayo, hacer uso de subtítulos que faciliten la lectura del texto.

Tablas, fotos, figuras

Incluir las tablas, fotos y gráficos en archivos separados. Fotos y gráficos en jpg o tiff con una resolución máxima de 1200 pixeles.

Referencias bibliográficas

Las referencias en el texto del artículo deberán ser numeradas, entre corchetes rectangulares, tal y como vayan apareciendo en su documento. El formato de las referencias será de acuerdo al estilo IEEE (descargar formato IEEE).

FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

- Los artículos se reciben durante todo el año.
- Cierre de la edición del primer número del año: Primera quincena de marzo.
- Cierre de la edición del segundo número del año: Primera quincena de septiembre.
- Impresión y distribución: Junio y Diciembre de cada año

Mayores informes al correo y página Web
revista.epistemus@correom.uson.mx
www.epistemus.uson.mx

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA EN TITULACIONES ÁCIDO-BASE

MARÍA GUADALUPE CÁÑEZ CARRASCO*, ALEJANDRO MONSERRAT GARCÍA ALEGRÍA, MARÍA ALBA GUADALUPE CORELLA MADUEÑO

RESUMEN

Se realizó un procedimiento metodológico con la finalidad de conocer y cuantificar las fuentes más significativas de incertidumbre en la medición de la concentración de ácido acético por volumetría. Los resultados obtenidos muestran que la etapa de cuantificación constituye una de las más importantes del método, ya que la incertidumbre estándar combinada está principalmente determinada por la medición del volumen y por la calidad de la estandarización de la disolución titulante (NaOH) utilizada en la cuantificación del mensurando. Se estimó la incertidumbre en la determinación de ácido acético, y se obtuvo una incertidumbre estándar combinada ($u_{C_{CH_3COOH}}$) de 6.5 x 10^{-3} $molL^{-1}$, en tanto que la incertidumbre expandida (*U*), para un nivel de confianza de aproximadamente 95% con k = 2, fue del 3.02 x $10^{-2}$$molL^{-1}$.

Palabras clave: titulación, ácido acético, incertidumbre estándar combinada, incertidumbre expandida.

ABSTRACT

A methodological procedure was made in order to discover and quantify the most significant sources of uncertainty in the measurement of the concentration of acetic acid by volume. The results show that the quantification stage constitutes one of the most important of the method, since the combined standard uncertainty is mainly determined by the measurement of the volume and the quality of the standardization of the titration solution (NaOH) used in the quantification of the measurand. The uncertainty was estimated in the determination of acetic acid and a combined standard uncertainty of 6.5 x $10^{-3}$$molL^{-1}$ was obtained, while the expanded uncertainty (U), for a level of confidence of approximately 95% with k = 2, was of 3.02 x 10^{-2} $molL^{-1}$.

Key Words: *titrations, acetic acid, combined standard uncertainty, expanded uncertainty.*

M.C. MARÍA GUADALUPE CÁÑEZ CARRASCO
Correo: canez@correom.uson.mx
M.C. ALEJANDRO MONSERRAT GARCÍA ALEGRÍA
Correo: amgarcia@guayacan.uson.mx
DRA. MARÍA ALBA GUADALUPE CORELLA MADUEÑO
Correo: lcorella@guayacan.uson.mx
Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: M.C. María Guadalupe Cáñez Carrasco
Correo electrónico: canez@correom.uson.mx
Recibido: 9 de Marzo del 2015
Aceptado: 15 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Actualmente hay una necesidad o requerimiento formal, por parte de los laboratorios que realizan mediciones químicas, de implementar medidas que permitan asegurar la capacidad de proporcionar datos con la calidad requerida por los usuarios a través de la trazabilidad de las mediciones [1, 2]. Por lo tanto, es necesario que exista un procedimiento fácil de usar y aceptado de manera general para caracterizar la calidad del resultado de una medición, esto es, para estimar y expresar su incertidumbre [3, 4, 5] que por definición es un parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente atribuirse al mensurando [6, 7]. La guía para la evaluación y expresión de la incertidumbre de medición [8] establece un procedimiento completo para estimar la incertidumbre en métodos de ensayo y calibración; sin embargo, se plantea una estrategia muy general y cada laboratorio debe adaptarla a sus propias condiciones y objetos de ensayo. Si bien es cierto, las discusiones teóricas relativas al tema son importantes y no deben dejarse de lado, es transcendental recordar que la Química es una ciencia experimental y la adquisición de habilidades y destrezas por parte de los estudiantes es fundamental en la formación de los futuros profesionales. En este sentido, para los estudiantes de Química Analítica, resulta de especial importancia cumplir con el procedimiento metodológico que les permita obtener resultados confiables en sus prácticas de laboratorio a partir de parámetros analíticos establecidos en la normatividad vigente.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue ilustrar la aplicación de conceptos [9] específicos para el procesamiento de los datos obtenidos en una titulación para la estimación de la incertidumbre, a través de un ejemplo sencillo de medición de la concentración de ácido acético por volumetría, dentro de un programa de prácticas de laboratorio de la materia de Química Analítica I del Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad de Sonora, que muestra cómo identificar, analizar y estimar las contribuciones de los diferentes componentes o fuentes de incertidumbre involucradas en una titulación ácido-base.

METODOLOGÍA

Este trabajo se basó en el uso y la aplicación de expresiones matemáticas que se utilizan en la estrategia propuesta por la ISO (también conocida como aproximación “bottom-up”) para calcular y combinar la incertidumbre de cada una de las partes y obtener la incertidumbre global del proceso de medida químico [10, 11, 12, 13, 14].

Descripción del método

La medición de ácido acético en una muestra problema, se basa en la titulación de ésta con una disolución de hidróxido de sodio utilizando como indicador fenolftaleína.

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

Relación de interacción entre cada magnitud de entrada y el mensurando

Identificación y análisis de las fuentes de incertidumbre

El propósito de este paso es listar todas las fuentes de incertidumbre para cada una de las magnitudes que afectan el valor del mensurando. Se elaboró un diagrama de causa efecto (Ishikawa), para mostrar las fuentes potenciales de incertidumbre que podrían contribuir al valor de la incertidumbre asociada al valor medido de la concentración de ácido acético (mensurando).

Modelo matemático

En esta etapa se modela el proceso de medida. Es decir, se establece la relación que existe entre el resultado analítico y los parámetros de los que depende.

$$C_{CH_3COOH} = \frac{fc * m_{KHP} * P_{KHP} * V_{NaOH}}{M_{KHP} * V_{NaOH_{KHP}} * V_{CH_3COOH}} * fd \qquad (1)$$

dónde, la concentración de NaOH depende de la masa de KHP (m_{KHP}), de su pureza (P_{KHP}), de su masa molar (M_{KHP}), y del volumen de la disolución de NaOH (V_{T1}) gastado durante la valoración del KHP ($V_{NaOH_{KHP}}$), y por lo tanto V_{NaOH} volumen gastado de disolución de hidróxido de sodio para titular el ácido acético y V_{CH_3COOH}, es el volumen de muestra (ácido acético) titulada. En la ecuación 1 se asume que el hidróxido de sodio se estandariza frente a una disolución de $KHC_8H_4O_4$ (KHP) como patrón primario[10, 14]. fc es el factor de conversión de mililitros a litros.

Identificación de las fuentes de incertidumbre

Para la identificación de las fuentes de incertidumbre significativas, se partió del modelo matemático correspondiente, así como de aquellas fuentes que no están descritas explícitamente en el modelo y que provienen de otras fuentes y se pueden apreciar en el diagrama de Ishikawa en la figura 1 [10, 15].

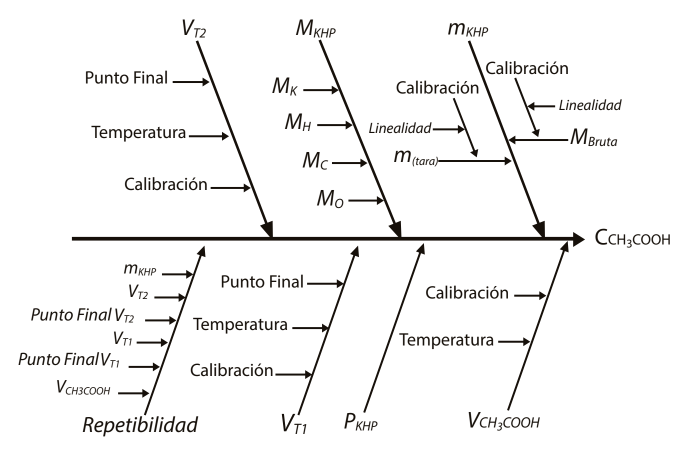


Figura 1. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) para las fuentes de incertidumbre establecidas para la titulación de ácido acético (mensurando).

Cuantificación de las fuentes de incertidumbre

Estimación de la incertidumbre estándar del KHP

Pureza KHP (P_{KHP})

Se consideró la pureza del KHP y la incertidumbre citada por el proveedor (Fermont). No se consideró otra fuente de incertidumbre ya que el procedimiento de secado se realizó de acuerdo con las especificaciones del proveedor. Así la incertidumbre estándar es:

$$u_{P_{KHP}} = \frac{u}{\sqrt{3}} \qquad (2)$$

Masa molar KHP (M_{KHP})

El KHP tiene la fórmula empírica $KHC_8H_4O_4$. La incertidumbre en la masa molar del compuesto se determinó mediante la combinación de la incertidumbre en los pesos atómicos de sus elementos constitutivos (Tabla 1) [16]. Para calcular la incertidumbre estándar ($u_{(x)}$) correspondiente a cada elemento se dividió la incertidumbre reportada (u) entre $\sqrt{3}$ [5, 16].

$$u_{M_{KHP}} = \sqrt{u_C^2 + u_H^2 + u_O^2 + u_K^2} \qquad (3)$$

Tabla 1. Valores de pesos atómicos e incertidumbre de $KHC_8H_4O_4$ (KHP).

Elemento	Peso Atómico	Resultado	Incertidumbre citada (17)	Incertidumbre estándar (u_x)
C_8	8 x 12.0107	96.0856	± 0.00080	0.00370
H_5	5 x 1.00794	5.03970	± 0.00007	0.00020
O_4	4 x 15.9994	63.9976	± 0.00030	0.00070
K	1 x 39.0983	39.0983	± 0.00010	0.00010





Masa del KHP (m_{KHP})

Se utilizó una balanza analítica marca Vibra modelo AF-R220E Max/d 220/0.0001 g, previamente calibrada con un set de masas patrón de laboratorio (pesa de 0.5 g de masa) marca Rice Lake, certificadas por la Entidad Mexicana de Acreditación (ema ac). La calibración de la balanza analítica se realizó utilizando 10 réplicas y cada una por triplicado, para obtener la repetibilidad [2, 17, 18] (Tabla 2).

$$u_{m_{KHP}} = \sqrt{(Calibración)^2 + (Repetibilidad)^2} \quad (4)$$

Tabla 2. Estandarización de la disolución de NaOH con KHP.

Réplicas	KHP (g)	mL NaOH
1	0.3047	15.40
2	0.3025	15.50
3	0.3015	15.40
4	0.3030	15.60
5	0.3025	15.60
Promedio	0.3028	15.50
Desv. estándar		0.10

Volumen de la disolución de NaOH para titular el KHP (V_{T1})

La estimación de la incertidumbre correspondiente al volumen de la pipeta volumétrica y del matraz volumétrico, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$u_V = \sqrt{u_{Tol}{}^2 + u_{\mathrm{Rep}}{}^2 + u_{\Delta T}{}^2} \quad (5)$$

Tolerancia. La incertidumbre estándar respecto a la tolerancia *(Tol)* del matraz volumétrico y/o pipeta volumétrica declarada por el fabricante (u_{Tol}), y para convertir a incertidumbre estándar se asumió una distribución rectangular dividiendo entre $\sqrt{3}$.

$$u_{Tol} = \frac{Tolerancia}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

Repetibilidad. La incertidumbre con respecto a la repetibilidad *(Rep)* de llenado del material volumétrico (u_{Rep}). Se estima con la siguiente ecuación:

$$u_{Rep} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

n= número de mediciones
s=desviación estándar experimental de las repeticiones

Para estimar la repetibilidad se hicieron 10 mediciones y cada una por triplicado (n = 30), para la pipeta volumétrica de 10.0 mL y para el matraz volumétrico de 250.0 mL por el método gravimétrico (Tabla 2).

Variación de temperatura. La incertidumbre debido a la diferencia entre la temperatura de especificación del fabricante y la de trabajo, ΔT [19]. La posible variación de temperatura está dentro de los límites de ± 5 °C y se trata cómo una distribución rectangular [20].

$$u_{\Delta T} = \frac{V_{mat\ vol} * \Delta T * coeficiente\ de\ expansión\ térmica\ del\ agua}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

En el caso de la bureta volumétrica, el volumen estuvo sujeto a la influencia de fuentes de incertidumbre como Tol, Rep, ΔT y a la contribución de la incertidumbre en la detección del punto final. Además se consideró la contribución por la resolución *(Resol)*, ya que posee una escala graduada.

Punto final. Para estimar esta contribución se evaluó la desviación estándar de los volúmenes gastados y se usó la siguiente ecuación:

$$u_{Pfinal} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Resolución. La resolución para la bureta clase A de 25.00 mL es de 0.10 mL [21]:

$$u_{\ (resol)} = \frac{Resolución\ de\ bureta}{2\sqrt{3}} \quad (10)$$

Para estimar la repetibilidad se hicieron 10 mediciones de 25.00 mL (escala completa) por triplicado (n = 30) (Tabla 2).

Por lo anterior, la contribución de los volúmenes de la disolución de NaOH para titular el KHP (V_{T1}) y el CH_3COOH (V_{T2}) (Tablas 3 y 4), se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$u_{V_{Ti}} = \sqrt{u_{Tol}{}^2 + u_{Rep}{}^2 + u_{\Delta T}{}^2 + u_{\mathrm{pfinal}}{}^2 + u_{\mathrm{Resol}}{}^2} \quad (11)$$

Cálculo de la incertidumbre estándar combinada relativa

La incertidumbre estándar combinada relativa es la incertidumbre obtenida a partir de las incertidumbres estándares individuales combinadas (ecuación 12) [7].

$$\frac{u_{C_{CH_3COOH}}}{C_{CH_3COOH}} = \sqrt{\left(\frac{u_{m_{KHP}}}{m_{KHP}}\right)^2 + \left(\frac{u_{P_{KHP}}}{P_{KHP}}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_{T1}}}{V_{T1}}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_{T2}}}{V_{T2}}\right)^2 + \left(\frac{u_{M_{KHP}}}{M_{KHP}}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_{10}}}{V_{10}}\right)^2 + \left(\frac{u_{V_{250}}}{V_{250}}\right)^2} \quad (12)$$

La incertidumbre expandida U_{CH_3COOH} se calculó multiplicando la concentración del mensurando por la incertidumbre estándar combinada y posteriormente se multiplica por el factor de cobertura (k) igual a 2, el cual es equivalente a una confiablidad del 95% [7].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de interacción entre cada magnitud de entrada y el mensurando

Identificación de las fuentes de incertidumbre

Se muestran en el diagrama de Ishikawa o causa-efecto (Figura 1).

Cuantificación de las fuentes de incertidumbre

Pureza KHP (P_{KHP})

La pureza del $KHC_8H_4O_4$ declarada por el proveedor (Fermont) está dentro de los límites de 99.95 – 100.05 %. Por lo tanto, la pureza del KHP fue 1.0000 ± 0.0005. Se consideró como una distribución rectangular, sustituyendo en la ecuación 2, la incertidumbre estándar es:

$$u_{P_{KHP}} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.0003$$

$$u_{P_{KHP}} = \frac{u\ P_{\mathrm{KHP}}}{P_{\mathrm{KHP}}} = \frac{3\ x10^{-4}}{1.0} = 3\ x\ 10^{-4}$$

Masa molar KHP (M_{KHP})

En la tabla 1 se muestra la incertidumbre de la masa molar del $KHC_8H_4O_4$ (KHP). Sustituyendo en la ecuación 3:

$$u_{M_{\mathrm{KHC}_8H_4O_4}} = \sqrt{(8x0.000462)^2 + (5x0.000040)^2 + (4x0.000173)^2 + (1x0.000058)^2}$$

$$u_{M_{\mathrm{KHC}_8H_4O_4}} = u_{\ M_{KHP}} = 3.8\ x\ 10^{-3}\mathrm{gmol}^{-1}$$

$$u_{\ M_{KHC_8H_4O_4}} = u_{\ M_{KHP}} = \frac{u_{M_{KHP}}}{M_{KHP}} = \frac{3.8\ x\ 10^{-3}}{204.2212} = 1.861\ \mathrm{x}10^{-5}$$

Masa del KHP (m_{KHP})

Se pesaron por diferencia un promedio de 0.3028 g de KHP para estandarizar la disolución de NaOH (Tabla 2). Cada una de las pesadas estuvo sujeta a la repetibilidad de la balanza y a la incertidumbre de la calibración. Sustituyendo en la ecuación 4:

$$u_{\ m_{KHP}} = \sqrt{(0.00001)^2 + (0.00004)^2} = 4.123\ x10^{-5}\ g$$

$$u_{\ m_{KHP}} = \frac{u_{\ \mathrm{m}_{\mathrm{KHP}}}}{\mathrm{m}_{KHP}} = \frac{4.123\ x\ 10^{-5}}{0.3028} = 1.362\ x\ 10^{-4}$$

Volumen de la disolución de NaOH para titular el KHP (V_{T1})

Se estimó la incertidumbre estándar correspondiente al volumen de la bureta de 25.00 mL. El volumen estuvo sujeto a la influencia de fuentes de incertidumbre como *Rep*, ΔT, Tol, P_{final} y Resol.

La tolerancia de la bureta de 25.0 mL (clase A) es de 0.03 mL [20], ecuación 6.

$$u_{Tol} = \frac{0.03\ mL}{\sqrt{3}} = 1.732\ x10^{-2}\ mL$$

Sustituyendo los datos de la desviación estándar de la bureta en la ecuación 7.

$$u_{Rep} = \frac{5.542\ x10^{-2}\ mL}{\sqrt{30}} = 1.012\ x10^{-2}\ mL$$

Para la estimación de la incertidumbre de la variación de la temperatura (ΔT) se utilizó la ecuación 8.

$$u_{\Delta T} = \frac{15.50 * 5 * 2.1x10^{-4}}{\sqrt{3}} = 9.397\ x10^{-3}\ mL$$

Para estimar esta contribución del punto final se utilizó la desviación estándar de los volúmenes de NaOH utilizados para titular el KHP (Tabla 2), utilizando la ecuación 9.

$$u_{Pfinal} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.10}{\sqrt{5}} = 4.472\ x10^{-2}\ mL$$

Para la estimación de la incertidumbre de la resolución (*Resol*) se utilizó la ecuación 10.

$$u_{Resol} = \frac{0.10\ mL}{2\ \sqrt{3}} = 2.887\ x10^{-2}\ mL$$

La incertidumbre estándar combinada para V_{T1} se obtuvo sustituyendo en la ecuación 11:

$$u_{V_{T1}} = \sqrt{(0.01732)^2 + (0.01012)^2 + (0.009397)^2 + (0.04472)^2 + (0.02887)^2}$$

$$u_{V_{T1}} = 5.765\ x\ 10^{-2}\ \mathrm{mL}$$

$$u_{V_{T1}} = \frac{u_{V_{T1}}}{V_{T1}} = \frac{5.765\ x10^{-2}}{15.50} = 3.719\ x10^{-3}\ \mathrm{mL}$$

Volumen de la disolución de NaOH para titular el CH_3COOH (V_{T2})



Las fuentes de incertidumbre involucradas en V_{T1} son las mismas para V_{T2} , pero ajustando el valor para el punto final y temperatura.

Punto final. Para estimar esta contribución se evalúa la desviación estándar de los volúmenes de la disolución de NaOH utilizados para la titulación del ácido acético (Tabla 3).

$$u_{pfinal} = \frac{0.1882}{\sqrt{30}} = 3.436\ x\ 10^{-2}\ mL$$

$$u_{\Delta T} = \frac{9.71 * 5 * 2.1 * 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 5.887\ x\ 10^{-3}\ mL$$

Incertidumbre estándar combinada para V_{T2}, ecuación 11:

$$u_{V_{T2}} = \sqrt{(0.01732)^2 + (0.01012)^2 + (0.005887)^2 + (0.03436)^2 + (0.02887)^2} = 4.951\ x\ 10^{-2}\ \text{mL}$$

$$u_{V_{T2}} = \frac{u_{V_{T2}}}{V_{T2}} = \frac{4.951\ x\ 10^{-2}}{9.71} = 5.099\ x\ 10^{-3}\ \text{mL}$$

Tabla 3. Volumen de NaOH para titular el CH_3COOH*.

Réplicas	mL	mL	mL
1	9.60	9.70	9.90
2	9.50	9.60	10.00
3	9.60	9.70	10.00
4	9.30	9.70	10.00
5	9.60	9.70	9.90
6	9.40	9.70	9.90
7	9.60	9.70	10.00
8	9.40	9.70	9.90
9	9.60	9.80	9.80
10	9.50	9.70	9.80
Promedio	9.71		
Desv. estándar	0.1882		

*Corresponde al promedio de tres repeticiones para cada réplica.

Volumen de la alícuota de CH_3COOH (V_{10})

Se midió una alícuota de 10 mL de disolución de CH_3COOH. Para el volumen de la pipeta se consideraron las tres fuentes de incertidumbre de todos los dispositivos volumétricos de medición: *Rep*, *Tol* y *ΔT*.

La tolerancia en la especificación del fabricante, para una pipeta volumétrica de 10.0 mL es de ± 0.02 mL [21].

$$u_{Tol} = \frac{0.02\ mL}{\sqrt{3}} = 1.155\ x\ 10^{-2}\ mL$$



Sustituyendo en la ecuación 7, los datos de la desviación estándar de la pipeta volumétrica de 10.0 mL obtenidos a partir de 10 repeticiones por triplicado.

$$u_{Rep} = \frac{S_{Rep}}{\sqrt{n}} = \frac{1.398\ x\ 10^{-3}\ g}{\sqrt{30}} = 2.552\ x\ 10^{-4}\ g$$

$$u_{\Delta T} = \frac{V_{pipeta} * \Delta T * 2.1 * 10^{-4}}{\sqrt{3}} = \frac{10 * 5 * 2.1 * 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 6.062\ x\ 10^{-3}\ mL$$

La incertidumbre del volumen de ácido acético (V_{10}) se estimó combinando las tres fuentes de incertidumbre (*Tol, Rep* y *ΔT*) que afectan la medición de volumen de la alícuota de 10.0 mL de acuerdo a la ecuación 5.

$$u_{V_{10\ mL}} = 1.305\ x\ 10^{-2}\ mL$$

$$u_{V_{10\ mL}} = \frac{u_{V_{10}}}{V_{10}} = \frac{1.305\ x\ 10^{-2}}{10} = 1.305\ x\ 10^{-3}$$

Estimación de la incertidumbre estándar correspondiente al volumen del matraz volumétrico en el cual se preparó la dilución de ácido acético (V_{250})

La tolerancia *(Tol)* del matraz volumétrico de 250.0 mL reportada por el fabricante es de 0.15 mL (ecuación 6):

$$u_{Tol} = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.0866\ \text{mL}$$

Repetibilidad de llenado del matraz volumétrico.

Para estimar la repetibilidad se hicieron 10 aforos por triplicado obteniéndose una desviación estándar de 7.48x 10^{-3} mL.

$$u_{Rep} = \frac{0.00748\ \text{mL}}{\sqrt{30}} = 0.001366\ \text{mL}$$

Incertidumbre debida a diferencia de temperatura entre la temperatura de especificación del fabricante y la



de trabajo. La temperatura reportada en la especificación del matraz volumétrico es de 20 ºC y la temperatura en el laboratorio varía ± 5 °C. El coeficiente de expansión de volumen del agua es 2.1X10^{-4} ºC^{-1}. Por lo tanto la incertidumbre debida a la diferencia de temperatura ($u_{\Delta T}$) es:

$$u_{\Delta T} = \frac{250 * 5 * 2.1x10^{-4}}{\sqrt{3}} = 0.1516\, mL$$

La incertidumbre combinada correspondiente al volumen de la disolución de ácido acético (V_{250})

Se sustituyen los valores de tolerancia, repetibilidad y ΔT en la ecuación 5

$$u_{\,V_{250\,mL}} = \sqrt{u_{(0.0866\,)}{}^{2} + u_{(0.01366\,)}{}^{2} + u_{(0.1516)}{}^{2}}$$

$$u_{\,V_{250\,mL}} = 0.17459\, mL$$

$$u_{V_{250\,mL}} = \frac{u_{V_{250}}}{V_{250}} = \frac{0.17459}{250} = 6.984\, x\, 10^{-4}$$

Para determinar la concentración de ácido acético, se utilizó la ecuación 1:

$$C_{CH_3COOH} = \frac{1000 * m_{KHP} * P_{KHP} * V_{T1}}{V_{T2} * M_{eqKHP} * V_{CH_3COOH}} = \frac{1000 * 0.3028 * 1.00 * 9.71}{15.50 * 204.2212 * 10.00} = 0.0929$$

Considerando que el factor de dilución es de 25 (alícuota de 10.0 mL aforada a 250.0 mL) la concentración es de:

$$C_{CH_3COOH} = 0.0929\, x\, 25 = 2.3225\, mol\, L^{-1}$$

La incertidumbre estándar combinada relativa se obtiene sustituyendo valores en la ecuación 12:

$$\frac{u_{C_{CH_3COOH}}}{C_{CH_3COOH}} = \sqrt{\left(\frac{4.123\,x10^{-5}}{0.3028}\right)^2 + \left(\frac{3\,x10^{-4}}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{5.765\,x10^{-2}}{15.50}\right)^2 + \left(\frac{4.951\,x\,10^{-2}}{9.71}\right)^2 + \left(\frac{3.8\,x10^{-3}}{204.2212}\right)^2 + \left(\frac{1.305\,x\,10^{-2}}{10}\right)^2 + \left(\frac{0.17459}{250}\right)^2}$$

$$\frac{u_{C_{CH_3COOH}}}{C_{CH_3COOH}} = 6.5\text{ x } 10^{-3} molL^{-1}$$

$$u_{C_{CH_3COOH}} = C_{CH_3COOH} * 6.5\text{ x } 10^{-3} = 0.0151$$

La incertidumbre expandida U_{CH_3COOH} se calculó multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura (κ) igual a 2, que es similar a un nivel de confianza del 95% [7].

$$U_{C_{CH_3COOH}} = 0.0151 * 2 = 0.0302\text{ molL}^{-1}$$

Por lo tanto,

$$C_{CH_3COOH} = 2.3225 \pm 0.0302\text{ molL}^{-1}$$

Con el fin de obtener la información necesaria para estimar la incertidumbre se requiere disponer del certificado de calibración de los diferentes equipos del laboratorio y determinar los valores de las desviaciones estándar a partir de las verificaciones rutinarias del material volumétrico, métodos y los equipos usados [22]. En la figura 2 se observa la contribución de cada una de las fuentes de incertidumbre consideradas en el proceso de determinación de ácido acético por volumetría. Las contribuciones representadas muestran que el mayor aporte a la incertidumbre estándar relativa en la determinación de ácido acético lo proporciona el mensurando C_{CH_3COOH}, seguido del volumen de la disolución de NaOH para titular el CH_3COOH (V_{T2}). La incertidumbre debida al volumen de la alícuota de ácido acético (V_{10}) y el resto de las contribuciones, tienen una influencia menos significativa sobre la incertidumbre estándar relativa. En la tabla 4 se muestra un resumen de los valores e incertidumbres de la titulación ácido-base.

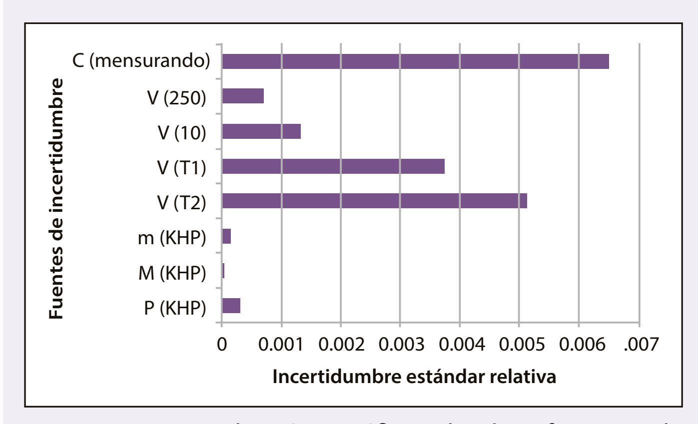


Figura 2. Contribución gráfica de las fuentes de incertidumbre en la titulación de ácido acético (mensurando).

Tabla 4. Valores e incertidumbres estimadas en la titulación de ácido acético (mensurando).

	Descripción	Valor x	Incertidumbre Estándar $u(x)$	Incertidumbre estándar relativa $u(x)/x$
M_{KHP}	Masa molar	20.2212	0.00377	0.00002
P_{KHP}	Pureza	1.0000	0.00030	0.00030
m_{KHP}	Masa KHP	0.3028	0.00004	0.00014
V_{T1}	Volumen de NaOH para titulación KHP	15.5000	0.05765	0.00372
V_{T2}	Volumen de NaOH para titulación de CH_3COOH	9.7100	0.04951	0.00510
V_{10}	Alícuota de CH_3COOH	10.0000	0.01305	0.00130
V_{250}	Volumen al que se diluyó la alícuota de 10 mL de CH_3COOH	250.0000	0.17459	0.00070
C_{CH_3COOH}	Concentración de CH_3COOH	2.3225	0.01508	0.00650

Conclusiones

Se establecieron las fuentes de incertidumbre en la cuantificación de CH_3COOH por volumetría mediante un diagrama de Ishikawa, además de representar gráficamente cada una de sus contribuciones. Se estimaron las incertidumbres individuales para posteriormente estimar la incertidumbre de la medición de la concentración de ácido acético, obteniéndose una incertidumbre estándar combinada ($u_{C_{CH_3COOH}}$) de 6.5 x 10^{-3} mol L^{-1}, en tanto que la incertidumbre expandida (U), para un nivel de confianza de aproximadamente 95 % con k = 2, fue de 3.02 x 10^{-2} mol L^{-1}.

BIBLIOGRAFÍA

1) V. Iyengar. «Metrology in physics, chemistry and biology,». Biol. Trace Elem. Res. 116(1),1-4. 2007.
2) R. Ruiz-Morer. «Recomendaciones para la calibración de material volumétrico en el laboratorio clínico,». Química Clínica 25(2),104-110. 2006.
3) CEN/CENELEC. «European Standard,». En: 45001 General criteria for the operation of testing laboratories. Brussels, Belgiums. 1989.
4. H.W. Vesper and L.M. Thrienpont. «Traceability in laboratory medicine,». Clin. Chem. 55(6), 1067-1075. 2009.
5) I. Farrance and R. Frenkel. «Uncertainty of measurement: A review of the rules for calculating uncertainty components through functional relationships,». Clin. Biochem. Rev.33, 48-75. 2012.
6) A. Maroto, R, Boqué, J. Riu y F.X. Rius. «Incertidumbre y precisión,». Técnicas de Laboratorio. 266,834-837, 2001.
7) CENAM-EMA. «Guía para estimar la incertidumbre de la medición,». México, D. F. 2004a.
8) ICONTEC. GTC 51. «Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones,». Equivalente (EQV) a Guide to the expression of uncertainty in measurement. 2003.
9) Norma Mexicana. «NMX-EC-17025-IMNC-2006,». 2006.
10) A. Maroto, R. Boqué, J. Riu y F.X. Rius. «Estrategias para el cálculo de la incertidumbre,». Técnicas de laboratorio. 270,223-227. 2002.
11) J. Kristiansen. «The guide to of expression uncertainty in measurement aproach for estimating uncertainty: An Appraisal,». Clin. Chem. 49(11),1822-1829. 2003.
12) CENAM-ema. «Guía genérica para la elaboración de guías técnicas para mediciones analíticas,». México, D. F. 2004b.
13) CENAM-ema. «Guía para la validación y la verificación de los procedimientos de examen cuantitativos empleados por el laboratorio clínico,». México, D. F. 2008a.
14) F.X. Rius. «Cálculo de la incertidumbre en los resultados analíticos,». Cuaderno Tecnológico Nº 1 SEGEMAR. 2007.
15) CENAM-ema. «Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en las mediciones analíticas que emplean la técnica de titulación volumétrica,». México, D.F. 2008b.
16) M.E. Wieser and T.B. Coplen. «Atomic weights of the elements 2009,». IUPAC Technical report. Pure Appl. Chem. 83(2),59–396. 2001.
17) CENAM-ema. «Guía de trazabilidad metrológica de los valores asignados a los calibradores y material de control empleados por el laboratorio clínico,». México, D.F. 2009a.
18) CENAM-ema. «Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en los servicios de calibración de recipientes volumétricos por el método gravimétrico,». México, D.F. 2009b.
19) [En línea]. Available: http://physchem.kfunigraz.ac.at/sm/Service/Water/H2Othermexp.htm. H_2O Thermal Expansion Coefficient. [Último acceso: 17 julio 2013].
20) EURACHEM/CITAC Guide CG 4. «Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement,». Third Edition. 2012.
21) D.A. Clavijo. «Fundamentos de química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico,». Primera edición. Colección Textos. Universidad de Colombia. 2002.
22) A. Rodríguez y E. Jhovany. «Estimación de la incertidumbre de medición en el ensayo de alcalinidad de acuerdo a la Guía GTC 51,», Scientia et Technica. 15(38), 375-380. 2008.



COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO LINEAL DE SOLUCIONES ACUOSAS DE CTAB/NASAL

JESÚS RAMIRO ARAGÓN GUAJARDO*, KEREN HAPUC GUTIÉRREZ ACOSTA,
ROGELIO GÁMEZ CORRALES,VICTOR VLADIMIR AMÍLCAR FERNÁNDEZ ESCAMILLA,
YOKIUSHIRDHILGILMARA ESTRADA GIRÓN

RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo un estudio de los comportamientos viscoelásticos lineales de disoluciones acuosas de Bromuro de Cetiltrimetilamonio (CTAB)/Salicilato de Sodio (NaSal) variándose tanto la temperatura como la concentración de NaSal. La concentración de CTAB se mantuvo constante en 100 mM, mientras que la concentración de NaSal se varió en el intervalo de 35 a 500 mM a las temperaturas de medición de 25, 30 y 35ºC. Los resultados de viscosidad estática indican que el sistema exhibe cuatro regiones con igual número de transiciones estructurales de micelas alargadas filiformes en función de la concentración de NaSal y de la temperatura. Los análisis viscoelásticos fueron llevados a cabo utilizando los modelos mecánicos de Maxwell y Hess, permitiendo obtener una correlación entre la viscoelasticidad lineal oscilatoria, por medio de los espectros de tiempos de relajación, y las diferentes estructuras micelares de cada una de las diferentes regiones del diagrama fisicoquímico dinámico.

Palabras clave: Tensoactivos, nanotubos de carbono, reología lineal, geles físicas.

ABSTRACT

This paper reports linear rheological measurements of aqueous solutions of Cetyltrimethylammonium Bromide(CTAB)/ Sodium Salicylate (NaSal) as a function of the temperature and the concentration of NaSal. CTAB concentration it was remained constant at 100mM, where as NaSal concentration varied in the range of 35 to500 mM. The measuring temperatures were 25, 30 and 35 °C.

Static viscosity results indicate that the system exhibits four regions with an equal number of elongated structural transitions filiform micelles depending NaSal concentration and temperature. Viscoelastic analyzes were carried out using mechanical models of Maxwell and Hess, allowing to obtain a correlation between oscillatory linear viscoelasticity, using spectra relaxation times, and different micellar structures of each of the different regions of dynamic physicochemical diagram .

Keywords: *Surfactants, carbon nanotubes, linear rheology, physical gels.*

L.F. JESÚS RAMIRO ARAGÓN GUAJARDO
Departamento de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: jraragon@correo.fisica.uson.mx
M.C. KEREN HAPUC GUTIÉRREZ ACOSTA
Departamento de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: khgutierrez@correo.fisica.uson.mx
DR. ROGELIO GÁMEZ CORRALES
Departamento de Física, Universidad de Sonora
Correo: rogelio@correo.fisica.uson.mx
DR. VÍCTOR VLADIMIR AMÍLCAR
FERNÁNDEZ ESCAMILLA
Departamento de Ciencias Tecnológicas,
Universidad de Guadalajara
Correo: vladkrm@hotmail.com
DRA.YOKIUSHIRDHILGILMARA ESTRADA GIRÓN
Departamento de Ingeniería Química,
Universidad de Guadalajara
Correo: mara.estrada@cucei.udg.mx

*Autor para correspondencia: L.F. Jesús Ramiro Aragón Guajardo
Correo electrónico: jraragon@correo.fisica.uson.mx
Recibido: 15 de Marzo del 2015
Aceptado: 8 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Los tensoactivos son moléculas anfifilicas constituidas por un grupo hidrófilo (cabeza) el cual tiene una carga y una cadena de carbonos hidrófoba relativamente corta (cola). Cuando las moléculas de tensoactivo son disueltas en agua por encima de su concentración micelar crítica (c.m.c.), éstas pueden auto ensamblarse espontáneamente en agregados nanométricos, denominados micelas, de aproximadamente 2.0 nm de diámetro [1]. Estos agregados micelares presentan diferentes formas complejas dependiendo del tamaño de la cabeza del tensoactivo, el número de átomos de carbono que constituyen las colas, así como también la salinidad de la solución y las condiciones de flujo [1]. De las estructuras micelares formadas, las micelas alargadas tipo gusano han recibido mucha atención como sistema modelo en el estudio de transiciones de fase inducidas por esfuerzos externos, aunado a sus potenciales aplicaciones en recuperación de aceites, reductores de arrastre en flujo, etcétera [3].



Estos comportamientos viscoelásticos se ven modificados, como se verá más adelante en este trabajo, al adicionarle una sal orgánica al sistema de micelas alargadas en disoluciones acuosas. Así, al adicionar sal orgánica a un sistema de tensoactivos catiónicos se observa en el sistema una transición de fase de estructuras de micelas esféricas a cilíndricas; a bajas y moderadas concentraciones, y posteriormente a micelas alargadas de tipo gusano a altas concentraciones [4]. La transición de esferas a cilindros y posteriormente a micelas alargadas puede modificarse a bajas concentraciones mediante apantallamiento electrostático adicionando sales (hidrótopas) orgánicas e inorgánicas [2, 5].

La adición de sales orgánicas a disoluciones acuosas de tensoactivos catiónicos como el Bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB) en agua muestra una gran diversidad de comportamientos reológicos. El fenómeno de espesamiento de viscosidad inducido por flujo externo es uno de los que más ha inquietado a la comunidad científica debido a su complejidad [6]. Este fenómeno aparece muy frecuentemente acompañado al flujo bandeado (coexistencia de una fase nemática y una fase desorientada, respecto a las líneas de flujo). La influencia de la sal orgánica denominada NaSal (Salicilato de sodio) en disoluciones de CTAB ha sido ampliamente estudiada debido a la abundancia de comportamientos reológicos, sobre todo en lo referente a transiciones de fase y/o aumento de viscoelasticidad [9]. En un afán de los investigadores por establecer una correlación entre los comportamientos viscoelásticos lineales y las diversas tipos de agregados nanométricos de tensoactivos, han estudiado diversas concentraciones de NaSal en CTAB/H_2O. Para tener una mejor comprensión de los diversos comportamientos viscoelásticos, utilizaron el modelo de Maxwell (consiste en un modelo de un resorte conectado con un pistón con una constante elástica y viscosidad estática constantes, respectivamente) con un solo tiempo de relajación (λ) para simular la respuesta viscoelástica, donde reportaron que λ disminuye al incrementarse la proporción de CTAB/NaSal. Sin embargo, el modulo elástico en el plateau (G_0) fue independiente de la proporción de CTAB/NaSal [7]. Por otra parte, se ha estudiado la viscosidad estática, η_o para soluciones de CTAB de 50 mM, variando la concentración de NaSal desde el intervalo de 10 a 1000 mM [8].

En este trabajo se reporta el comportamiento reológico lineal oscilatorio de disoluciones micelares de CTAB/NaSal, como una función de la concentración de NaSal y de la temperatura, manteniendo la concentración constante de CTAB (a 100 mM), utilizando una función de tiempos de relajación en lugar de un solo tiempo, λ. Para ello, se realizaron mediciones viscoelásticas obtenidas a partir de reología oscilatoria, manteniendo una deformación constante en el régimen lineal.

DETALLES EXPERIMENTALES

El CTAB y el NaSal, ambos de Sigma-Aldrich con una pureza de 99% y 98%, respectivamente, fueron utilizados sin tratamiento de purificación. Las soluciones acuosas de CTAB/NaSal se prepararon en frascos de vidrio manteniéndose constante la concentración de CTAB a 100 mM, y pesando las cantidades necesarias de NaSal y agua para producir la concentración deseada. El intervalo de concentración estudiada de NaSal fue de 35 a 500 mM. Los frascos fueron agitados en forma manual para formar las soluciones y colocados en una estufa a 30°C durante una semana, agitando periódicamente para acelerar la estabilización de las mismas. El agua utilizada en la preparación de las muestras fue de calidad ultra pura provista por un sistema Milli-Q ultrapure presentando una conductividad eléctrica de 18.2 MΩ/cm. Las mediciones de reología lineal oscilatoria fueron llevadas a cabo en un reómetro modelo MCR 300 de Anton Paar, bajo condiciones de deformación controlada, con una geometría de cono y



plato de 50 mm de diámetro y un ángulo $\alpha = 0.98°$. Para evitar evaporación del disolvente se utilizó una trampa de humedad. La temperatura se controló por medio de un sistema Peltier (TEK150P-C) con una precisión de 0.1°C. Las temperaturas estudiadas fueron de 25, 30 y 35ºC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los módulos elástico (G´) y viscoso (G´´) como una función de la frecuencia $(0.1\text{s}^{-1} \leq \omega \leq 100\ \text{s}^{-1})$ para disoluciones acuosas de CTAB/NaSal a una concentración de 100mM/150mM y medidas a una temperatura de 25 °C. Cabe mencionar que por encima de 40°C no se realizaron mediciones para evitar la evaporación excesiva del disolvente, mientras que por debajo de 25°C fueron restringidas debido a la temperatura de Krafft (formación de cristales de CTAB). A frecuencias altas, G´ presenta una dependencia lineal con ω, en una representación tipo log-log. Esto indica que el sistema presenta un tiempo de relajación rápido con un comportamiento predominantemente elástico. Por otra parte, a frecuencias intermedias, G´ presenta un valor de plateau constante (Go), el cual muestra una dependencia con la concentración de NaSal (ϕ_{NaSal}) y la temperatura; mientras G´´ disminuye a medida que ω aumenta manteniendo una pendiente de -1, es decir sigue la proporción $G''(\omega) \propto \omega^{1}$. En la región terminal de relajación, la cual está delimitada para valores de frecuencias inferiores al cruce de los módulos en donde $G'(\omega) = G''(\omega)$, G´ es proporcional a ω^2, mientras que G´´ es proporcional a ω. Es en esta región en donde el sistema muestra un comportamiento predominantemente viscoso. La transición de la región terminal a la región intermedia, y de la región intermedia a la región de altas frecuencias, se realiza de una manera continua, es decir, no aparece un tiempo único de relajación, por lo que puede asociárseles a un espectro de tiempos de relajación.

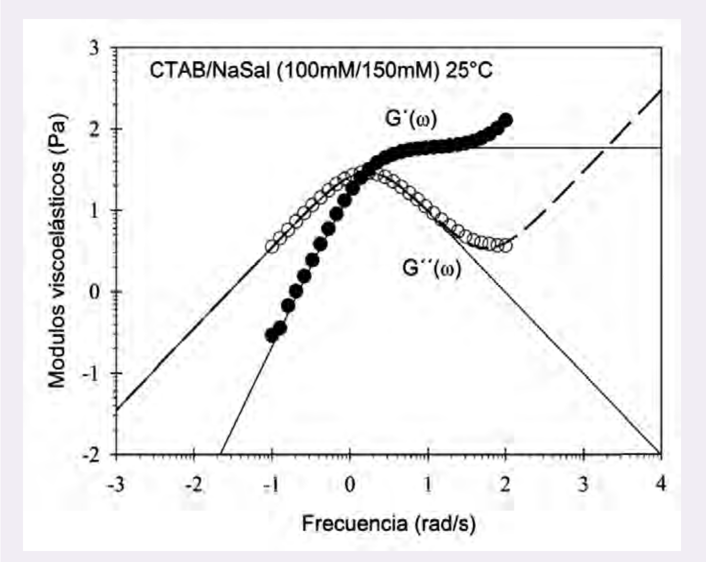


Figura 1. Módulo elástico (G´) y viscoso (G´´) como una función de la frecuencia (ω) para soluciones acuosas de CTAB/NaSal a una concentración de 100 mM/150 mM medido a 25°C.

Las líneas continuas que aparecen en la figura 1 representan el mejor ajuste con el modelo de Maxwell, mientras que las líneas punteadas el modelo de Hess (consiste resorte en serie con un pistón y este arreglo a su vez en paralelo con un pistón con viscosidad estática constante), donde los módulos viscoelásticos están descritos por las siguientes ecuaciones:

$$G'(\omega) = G_o \frac{\omega^2 \lambda^2}{1+\omega^2 \lambda^2} + A \quad y \quad G''(\omega) = G_o \frac{\omega \lambda}{1+\omega^2 \lambda^2}, \tag{1}$$

$$A = 0 \qquad \rightarrow Maxwell$$

$$A = G_\infty \omega \quad \rightarrow Hess$$

Donde λ es el tiempo de relajación principal obtenido a partir de la frecuencia de cruce donde los módulos son iguales ($G'(\omega) = G''(\omega)$), mientras que G_o es el valor en el plateau, y G_∞ es el valor a frecuencia infinita. El tiempo de relajación macroscópico puede ser relacionado con el tiempo de reptación y el tiempo de ruptura y recombinación:

$$\lambda = \sqrt{\lambda_{rept}\lambda_b} \quad (2)$$

A medida que ϕ_{NaSal} se incrementa, los sistemas presentan transiciones micelares, en donde a bajas concentraciones se forman micelas cilíndricas transitando a micelas alargadas, y posteriores a micelas alargadas gigantes entrelazadas [6, 9]. Cabe resaltar que el diámetro en todos los sistemas de micelas alargadas que se presentan en este trabajo permanece constante y con un valor de 2.0 nm. Mientras los comportamientos viscoelásticos lineales oscilatorios de estas transiciones son mostrados en la figura 2, en donde $G'(\omega, \phi_{NaSal})/Go(\phi_{NaSal})$ y $G''(\omega,\phi_{NaSal})/Go(\phi_{NaSal})$ vs $\omega\lambda$. Note que a valores de $\omega\lambda \leq 1$, las curvas se superponen en una curva maestra. Mientras que para valores muy grandes, es decir $\omega\lambda >> 1$ se observan desviaciones con una pendiente -1 y/o del valor del plateau del módulo elástico, los cuales se atribuyen a la aparición de tiempos de relajación rápidos o modos de respiración de Rouse [10]. A medida que ϕ_{NaSal} aumenta, los valores de $\omega\lambda$ van aproximándose a valores más cercanos a 1, es decir, a tiempos de relajación más lentos o terminales, mostrando el aumento en la longitud de las micelas alargadas [6, 11].

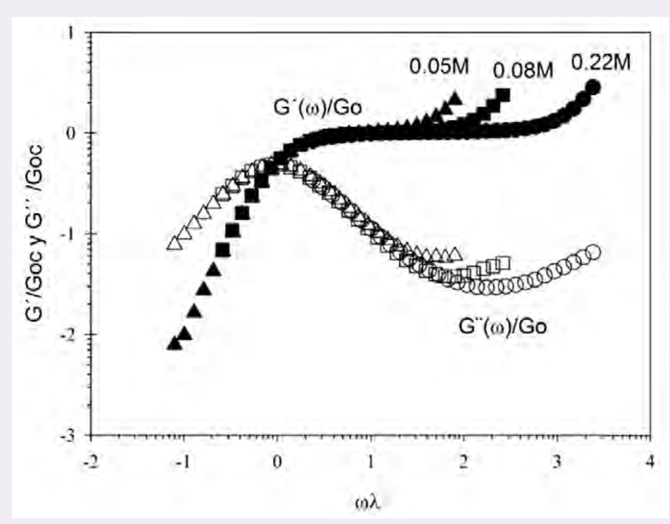


Figura 2. Curva maestra de superposición tiempo-Temperatura para (G'/G_0) y (G''/G_0) como una función de la frecuencia reducida (ω*λ) de soluciones acuosas de CTAB/NaSal a diferentes concentraciones de NaSal medidos a 25°C.

Los espectros de tiempos relajación ($H(\lambda)$) en todo el intervalo de ϕ_{NaSal} estudiados en este trabajo medidos a 25°C se muestran en la figura 3. Todos los espectros de tiempos de relajación fueron determinados utilizando los experimentos dinámicos, $G'(\omega)$ y $G''(\omega)$, por medio del software RheoPlus, con el cual se aplicó el modelo generalizado de Maxwell con un número infinito de resortes y pistones conectados en paralelos [13]. Los espectros de tiempos de relajación fueron obtenidos a través de la ecuación [3]:

$$G'(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\lambda)\frac{(\omega\lambda)^2}{1+(\omega\lambda)^2} d\ln\lambda, \quad (3)$$

donde λ es el tiempo de relajación terminal, $H(\lambda)$ es el espectro de tiempos de relajación [14].

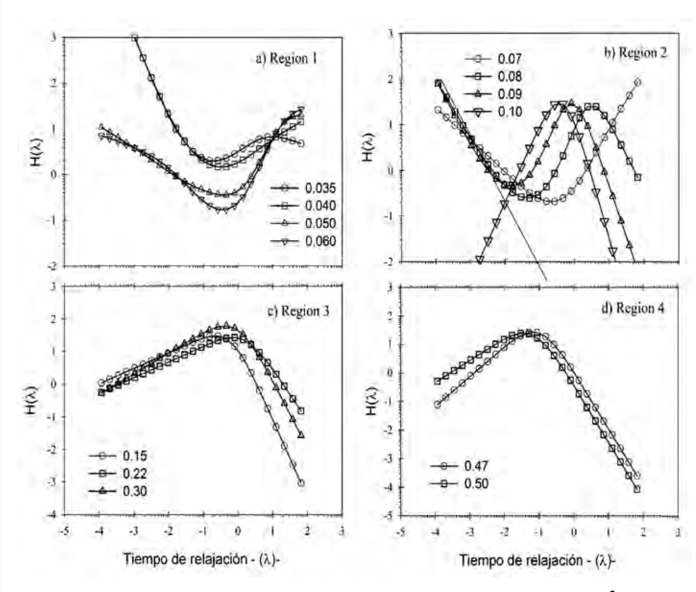


Figura 3. Espectros de tiempos relajación, $H(\lambda)$, de soluciones acuosas de CTAB/NaSal obtenidos a partir del mejor ajuste de la ec. (3).

En la figura 3a (Región 1), se muestra $H(\lambda)$ para soluciones a concentraciones de ϕ_{NaSal} < 60 mM. A tiempos cortos los espectros de tiempos de relajación obedecen un decaimiento que siguen una ley de potencia con exponente negativo, donde la pendiente es asociada con los tiempos de relajación de dinámica de modos de respiración Rouse [10] o Zimm (modelo microscópico consistiendo en una serie de resortes de constante elástica constante que mimetizan a un polímero verdadero) [15]. Por otra parte, el valor mínimo de los espectros $H(\lambda)$ indica el inicio del plateau de $G'(\omega)$, es decir (Go), y se extiende en el plateau en todo el intervalo de frecuencias estudiado con un exponente positivo (Figura 1). El tiempo de relajación terminal (valor máximo de $H(\lambda)$) proviene del cruce de los módulos $G'(\omega)=G''(\omega)$ y depende del tiempo de entrelazamiento de las micelas alargadas. Al incrementarse la concentración de ϕ_{NaSal}, se observa que $H(\lambda)$ disminuye a tiempos cortos, mientras que a tiempos largos los espectros se desplazan a valores cada

vez mayores. Los espectros H(λ) mostrados en la figura 3b (Región 2), presentan una pendiente negativa a tiempos cortos, la cual aumenta con ϕ_{NaSal} simultáneamente los tiempos largos se desplazan a valores más grandes. En esta región las cabezas de las micelas alargadas se encuentran apantalladas electrostáticamente lo que ocasiona que aparezcan curvaturas cóncavas en sus terminaciones, lo que provoca ramificaciones en el esqueleto principal de la micela. Así, debido a que las micelas ramificadas empiezan a aumentar en número conforme ϕ_{NaSal} aumenta, la viscosidad estática disminuye, de acuerdo al modelo de Lequeux [16], debido a que las ramificaciones se desplazan sobre el esqueleto de la micela. La figura 3c (Región 3) es caracterizada por un aumento en los tiempos de relajación, y por consecuencia, en la viscosidad estática, al incrementarse ϕ_{NaSal}. Esto se debe a que el apantallamiento electrostático entre las micelas es tan grande, que las ramificaciones crecen tanto que se fusionan con las ramificaciones de las micelas vecinas. Esta fusión de micelas ramificadas da por consecuencia la aparición de una red de micelas ramificadas fusionadas, produciéndose micro geles, lo que produce un aumento en los tiempos de relajación al impedirse la difusión micelar. Sin embargo, al incrementarse ϕ_{NaSal} (Figura 3d, Región 4) da por consecuencia la aparición de uniones "fantasmas" que producen una disminución en los tiempos de relajación, es decir, un aumento en el desplazamiento cuadrático medio y por consecuencia en la viscosidad estática del sistema [16].

CONCLUSIONES

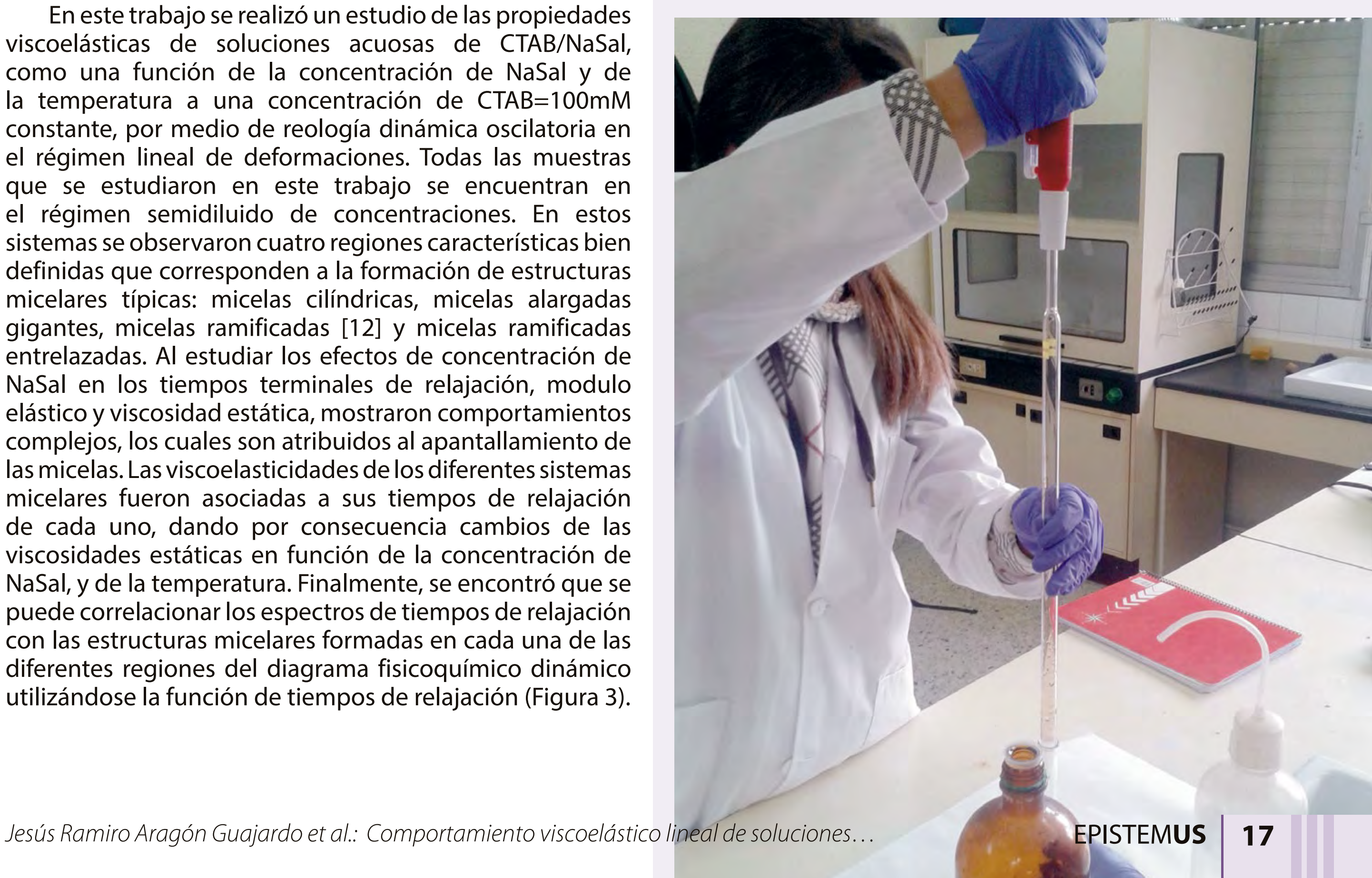
En este trabajo se realizó un estudio de las propiedades viscoelásticas de soluciones acuosas de CTAB/NaSal, como una función de la concentración de NaSal y de la temperatura a una concentración de CTAB=100mM constante, por medio de reología dinámica oscilatoria en el régimen lineal de deformaciones. Todas las muestras que se estudiaron en este trabajo se encuentran en el régimen semidiluido de concentraciones. En estos sistemas se observaron cuatro regiones características bien definidas que corresponden a la formación de estructuras micelares típicas: micelas cilíndricas, micelas alargadas gigantes, micelas ramificadas [12] y micelas ramificadas entrelazadas. Al estudiar los efectos de concentración de NaSal en los tiempos terminales de relajación, modulo elástico y viscosidad estática, mostraron comportamientos complejos, los cuales son atribuidos al apantallamiento de las micelas. Las viscoelasticidades de los diferentes sistemas micelares fueron asociadas a sus tiempos de relajación de cada uno, dando por consecuencia cambios de las viscosidades estáticas en función de la concentración de NaSal, y de la temperatura. Finalmente, se encontró que se puede correlacionar los espectros de tiempos de relajación con las estructuras micelares formadas en cada una de las diferentes regiones del diagrama fisicoquímico dinámico utilizándose la función de tiempos de relajación (Figura 3).

AGRADECIMIENTOS

Jesús R. Aragón Guajardo y Keren H. Gutiérrez Acosta, agradecen al CONACYT por el apoyo económico a través de becas de Maestría y Doctorado respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1) J.N. Israelachvili, International and Surface Forces with Applications to Colloidal and Biological Systems, Academic Press, New York, 1985.
2) H. Rehage and H. Hoffmann, Viscoelastic surfactant solutions: model systems for rheological research, Mol. Phys., Vol. 74, Issue 5, 1991, pp. 933-973.
3) Z. Lin, Langmuir, 12, 1996, 1729.
4) R. Zana, ed. Surfactant Solutions, in D.N. Rubingh, P.M. Holland, eds., Cationic Surfactants. Physical Chemistry, Surfactant Science Series, Vol. 37, Marcel Dekker, New York, 1991.
5) T. Shikata, H. Hirata, T. Kotaka, Langmuir, 4, 1988, 354.
6) V. Hartmann and R. Cressely, Colloig Polym. Sci. 276, 1998, 169.
7) W. J. Kim and S.M. Yang, J. Colloid Interface Sci. 232, 2000, 225.
8) H. Azzouzi, J.P. Decruppe, S. Lerouge and O. Greffer, Eur. Phys. J. E. 17, 2005, 507.
9) C.J. Pipe, N.J. Kim, P.A. Vasquez, L.P. Cook, G.H. McKinley, J. Rheol. 54, 2010, 881.
10) P.R. Rouse, J. Chem. Phys. 21, 1953, 1272.
11) P. Fischer, H. Rehage, Langmuir, 13, 1997, 7012.
12) M. Chellamuthu, J.P. Rothsein, J. Rheol. 52, 2008, 865.
13) J.D. Ferry, Viscoelastic properties of polymers, Wiley, New York, 1980.
14) N.W. Tschoegl, The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior, Berlin Heidelberg, New York, 1989.
15) B.H. Zimm, J. Chem. Phys. 24, 1956, 269.
16) F. Lequeux , S.J. Candau, Structural properties of wormlike micelles, on theorical challenges, in the dynamics of complex fluids, edited by T. McLeish, Kluwer, Dordrecht, Vol. 339, 1997.



ELIMINACIÓN DE CROMO DE EFLUENTES ÁCIDOS, MEDIANTE ADSORCIÓN CON WOLLASTONITA NATURAL

MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO*, LUIS ALBERTO NÚÑEZ RODRÍGUEZ, AGUSTÍN GÓMEZ ÁLVAREZ, GUILLERMO DEL CARMEN TIBURCIO MUNIVE

RESUMEN

El presente trabajo evalúa las características de la remoción de cromo con wollastonita natural a partir de soluciones sintéticas de cromo (VI) en medio ácido. Para realizar este estudio se desarrolló un diseño factorial 2^3 en el cual se estudiaron los factores: relación sólido/líquido, concentración de cromo en solución y temperatura. Se analizó el efecto de los factores principales y sus interacciones sobre el porcentaje de remoción de cromo mediante análisis gráficos. Asimismo, se desarrolló una ecuación de predicción del porcentaje de remoción de cromo en función de los efectos principales e interacciones más significativas,obteniendo correlaciones satisfactorias entre la información experimental y la predicha por la ecuación.

Palabras clave: Wollastonita, Cromo (VI), Adsorción.

ABSTRACT

This study evaluates the characteristics of chromium removal with natural wollastonite from synthetic solutions of chromium (VI) in acidic medium. To achieve this goal, a factorial 2^3 design was used. The effects of solid/liquid relationship, chromium concentration and temperature were studied. The effects of main variables and their interactions on the percentage of chromium removal from solutions were obtained. Also, a prediction equation was developed for percentage of chromium removal as a function of the input variables and the most significant interactions, obtained a good fit between experimental and computed values.

Keywords: *Wollastonite, Chromium (VI), Adsorption.*

DR. MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO
Correo: maencinas@iq.uson.mx
M.C. LUIS ALBERTO NÚÑEZ RODRÍGUEZ
Correo: lui_iq1983@hotmail.com
DR. AGUSTÍN GÓMEZ ÁLVAREZ
Correo: agomeza@iq.uson.mx
DR. GUILLERMO DEL CARMEN TIBURCIO MUNIVE
Correo: gtmunive@iq.uson.mx
Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia,
Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Dr. Martín Antonio Encinas Romero
Correo electrónico: maencinas@iq.uson.mx
Recibido: 17 de Marzo del 2015
Aceptado: 17 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Los malos manejos de los desechos industriales en el pasado están provocando cambios en los ecosistemas y en sus habitantes a nivel mundial, esto ha forzado a que gobiernos, universidades, centros de investigación y población en general busquen soluciones a este problema.

La contaminación de ecosistemas por lo general es consecuencia de la rápida expansión y muchas veces sin planificación previa de áreas urbanas y de asentamiento de numerosas industrias, desde donde se vierten desechos residuales. Los problemas de contaminación de aguas y suelos han llevado a los países de América Latina a encarar proyectos de evaluación y tratamientos de los recursos deteriorados y desarrollar políticas para su recuperación. Ante esta problemática, nuestro país ha iniciado una serie de cambios dentro de su legislación, tendientes a abatir o en su caso prevenir o controlar la contaminación producida por la actividad industrial. Uno de estos contaminantes es el cromo hexavalente, cuyos compuestos son carcinógenos y corrosivos de tejidos. A largo plazo sensibiliza la piel y daña a los riñones. Cuando éste es asimilado por humanos busca siempre su forma estable Cr (III). Las reacciones que lo llevan de la forma (VI) a (III) generan el consiguiente perjuicio para la salud, derivando en procesos tóxicos, carcinógenos y mutagénicos [1, 2].

Entre las industrias y/o establecimientos de servicio con procesos donde se utiliza el cromo y sus derivados se encuentra la metalúrgica (aleaciones ferrosas y no ferrosas), curtidurías, electroplatinado, colorantes, textiles, imprentas, entre otras [3].

Se ha desarrollado una amplia gama de procesos físicos y químicos para la remoción de cromo hexavalente, dentro de los que destacan precipitación química, ósmosis inversa, intercambio iónico y adsorción en carbón activado. Este último ha sido adoptado por varias industrias debido a su excelente capacidad de adsorción, sin embargo, su uso está limitado debido a su elevado costo. Por otra parte, la wollastonita ($CaSiO_3$) es un silicato de calcio, donde su reconocida cualidad como "adsorbente químico" lo cataloga como un mineral utilizable en los procesos de corrección y restauración ambiental [4-6].

En este contexto, el presente trabajo propone una técnica sencilla y práctica: utiliza un material accesible, económico y de gran importancia regional en el Estado de Sonora, como la wollastonita, para separar iones de cromo de soluciones sintéticas de cromo (VI) en medio ácido, como una alternativa a los procesos de remoción convencionales.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se utilizó wollastonita ($CaSiO_3$), NYAD M-200 (Minera NYCO, S.A. de C.V.) con una pureza del 98.25%. Las características más importantes aparecen en la tabla 1.

Para el desarrollo de las pruebas se utilizó un reactor de vidrio Pyrex, equipado con sistemas de agitación y calentamiento, en el cual se colocaron 500 mL de solución sintética de Cr (VI), expuesta durante 120 min a la reacción de adsorción con la wollastonita. Posteriormente las soluciones agotadas se colectaron para el análisis de cromo remanente, en un equipo de absorción atómica Perkin Elmer modelo 3110.

Para cumplir con los objetivos de este trabajo, se utilizó un diseño factorial 2^3 completo con dos réplicas de cada tratamiento [7].

Condiciones Constantes

- Volumen de la solución para adsorción: 500 mL
- pH controlado a: 2.5
- Velocidad de agitación: 120 rpm.

En este diseño se evaluaron los siguientes factores y sus respectivos niveles:

Relación Sólido/Líquido (A)	(+) 0.04 g/mL (-) 0.02 g/mL
Concentración de Cromo (B)	(+) 10 ppm (-) 2.5 ppm
Temperatura (C)	(+) 50°C (-) 30°C

Tabla 1. Propiedades típicas de la Wollastonita NYAD® M-200, producida por la Minera NYCO, S.A. de C.V. [8].

PROPIEDADES TÍPICAS	VALOR
Apariencia	Blanca
Morfología	Acicular
Peso molecular	116.00
Gravedad específica	2.90
Tamaño de partícula promedio (μm)	9.00
Área superficial (m^2/g) (BET)	1.30
Índice de refracción	1.63
pH (10%)	9.90
Solubilidad en agua (g/100cc.)	0.0095
Densidad (lbs./cu.ft.)	181.00
Dureza Mohs	4.50
Coeficiente de expansión (mm/mm/°C)	$6.5x10^{-6}$
Punto de fusión (°C) – Teórico	1540.00
Punto de fusión (°C) – ASTM D1857	1410.00

Para el análisis de los datos obtenidos en la sección experimental se desarrollaron análisis gráficos para los efectos e interacciones, tanto para los valores promedio del porcentaje de remoción de cromo, así como para los valores de la desviación estándar. Con los cuales se tuvo conocimiento de los efectos e interacciones

más significativos, así como también una idea clara de la variabilidad del proceso. Con lo anterior se pudo identificar cuáles de los factores analizados se proyectan como "Factores de Control" y cuáles no presentan esta característica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2, muestra los resultados experimentales para los porcentajes remoción de Cr con wollastonita natural, para un tiempo de procesamiento de 120 minutos. En ésta se aprecian porcentajes de remoción que varían desde 24.98% hasta 76.08%, con valores de desviación estándar pequeños en relación con los valores de porcentaje de remoción de Cr.

La figura 1 muestra el efecto de cada factor e interacciones sobre la variable de respuesta, también se puede apreciar que el mayor efecto sobre el proceso de remoción de Cr con wollastonita se atribuye al Factor C (temperatura), seguido de la interacción BC, los factores B (Concentración de Cr), A (relación Sólido/Líquido) y finalmente la interacción ABC.

Tabla 2. Matriz de datos experimentales del porcentaje de remoción de Cr con un diseño factorial 2^3.

PRUEBA	RELACIÓN SÓLIDO/LÍQUIDO (A)	CONCENTRACIÓN DE Cr (B)	TEMPERATURA (C)	Y1 %	Y2 %	PROM %	S
1	-	-	-	26.76	30.76	28.76	2.82
2	-	-	+	54.07	62.16	58.11	5.72
3	-	+	-	22.42	27.56	24.98	3.62
4	-	+	+	31.94	37.87	34.9	4.18
5	+	-	-	28.77	25.2	26.98	2.52
6	+	-	+	78.37	73.8	76.08	3.23
7	+	+	-	30.53	33.57	32.05	2.14
8	+	+	+	40.03	41.99	41.01	1.38

En la figura 2 se ilustra el diagrama de Pareto, en el cual se observa que el orden de significancia de los factores e interacciones resultó como se muestra a continuación: la temperatura (Factor C), la concentración de Cr en solución (B), la interacción entre ambos (BC), la relación sólido/líquido (A) y finalmente la interacción triple (ABC).

La figura 3 presenta el efecto de las interacciones entre los tres factores principales, mostrando el efecto combinado que surge al cambiar sus respectivos valores, desde los niveles bajos hasta los niveles altos, reafirmando las apreciaciones encontradas en los análisis gráficos anteriores.



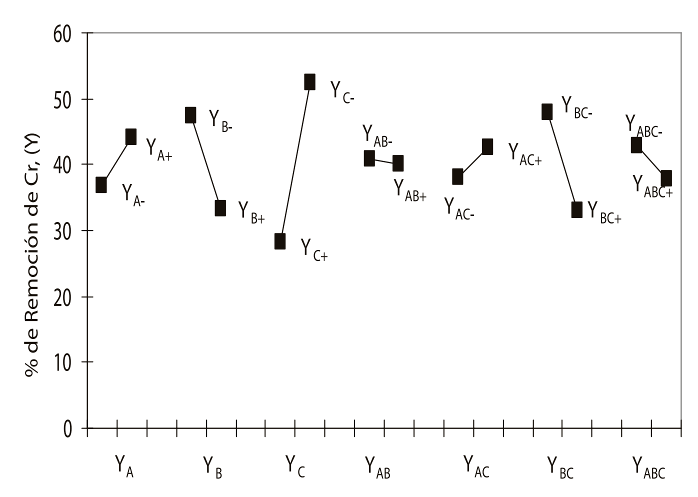


Figura 1. Efectos principales e interacciones sobre el porcentaje de remoción de Cr.

A = Relación sólido/líquido, B = Concentración de Cr en solución, C = Temperatura.

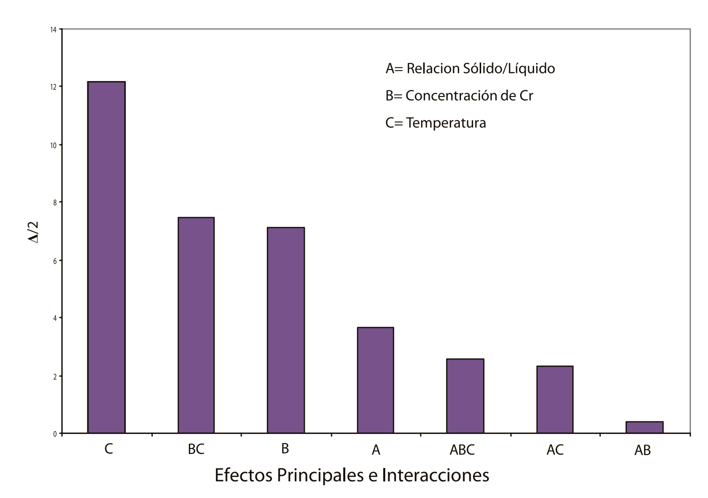


Figura 2. Diagrama de Pareto para el proceso de adsorción de Cr con Wollastonita.

A = Relación sólido/líquido, B = Concentración de Cr en solución, C = Temperatura.

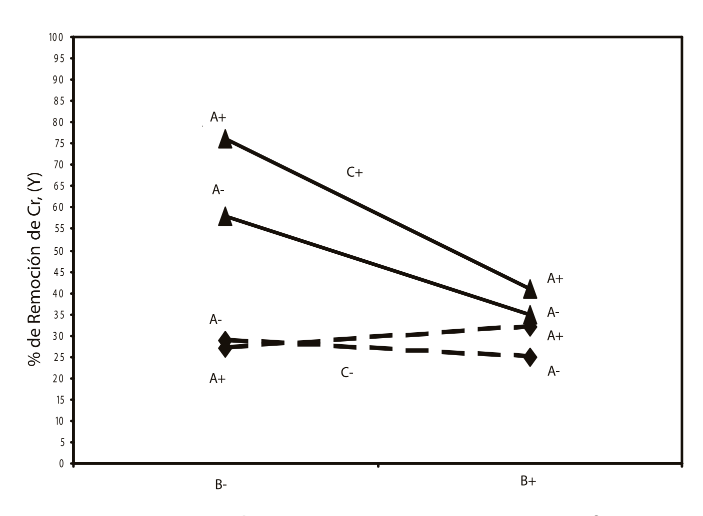


Figura 3. Análisis de las interacciones entre los factores principales.

A = Relación sólido/líquido, B = Concentración de Cr en solución C = Temperatura.

Con esta información se obtuvo la ecuación de predicción en la cual se expresa la variable de respuesta (Y), en función de los factores e interacciones más significativas; misma que se muestra a continuación:

$$Y = \hat{Y} + (\Delta_A/2)\,A + (\Delta_B/2)\,B + (\Delta_C/2)\,C + (\Delta_{BC}/2)\,BC + (\Delta_{ABC}/2)\,ABC \quad (1)$$

donde : Y = Valor calculado por la correlación.
$\hat{Y}$ = Promedio global de las respuestas.
A, B, C = Factores codificados en los niveles alto y bajo (+1 y -1).
Δ = Diferencia entre los promedios en los niveles bajo y alto de cada factor.

Con la información anterior resultó la siguiente ecuación de predicción, para el porcentaje de remoción de cromo:

$$Y = 40.34 + 3.16\,A - 7.12\,B + 12.16\,C - 7.44\,BC - 2.58\,ABC \quad (2)$$

Con la ecuación (2) se calcularon los porcentajes de remoción de cromo para todas las pruebas, cuyos resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de los resultados obtenidos mediante la ecuación de predicción y los datos experimentales para el porcentaje de remoción de Cr.

PRUEBA	REMOCIÓN DE Cr EXPERIMENTAL (%)	REMOCIÓN DE Cr CALCULADA CON LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN (%)	DIFERENCIA ENTRE LA REMOCIÓN CALCULADA Y LA REMOCIÓN EXPERIMENTAL (%)
1	28.76	26.75	2.00
2	58.11	60.82	2.70
3	24.98	22.75	2.23
4	34.90	37.36	2.36
5	26.98	28.42	1.44
6	76.08	72.81	3.28
7	32.05	34.23	2.18
8	41.01	38.51	2.50

Esto demuestra que la correlación encontrada así como la asociación de factores puede ser utilizada con gran confiabilidad para la predicción de la remoción de Cr con wollastonita, a cualquier otro nivel de los factores analizados.

Asimismo, el análisis de varianza presentado en la tabla 4 demuestra que existen diferencias significativas en el porcentaje de remoción de Cr, con respecto a los efectos e interacciones más importantes, reportadas en el análisis gráfico.





Tabla 4. Análisis de varianza para el proceso adsorción de Cromo con wollastonita natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA DE LOS CUADRADOS	F_o
Relación S/L (A)	215.64	1	215.64	18.49
Concentración inicial de Cr (B)	789.69	1	789.69	67.72
Temperatura (C)	2363.76	1	2363.76	202.7
Interacción AB	24.86	1	24.86	2.13
Interacción AC	88.28	1	88.28	7.57
Interacción BC	910.01	1	910.01	78.09
Interacción ABC	84.63	1	84.63	7.25
Error	93.32	8	11.66	
Total	1475.19	15		
		$F_{0.05, (1, 8)}$ = 5.32		

CONCLUSIONES

El análisis demostró que es posible utilizar la wollastonita natural con buena eficiencia para la remoción de Cr a partir de soluciones sintéticas Cr (VI) en medio ácido, resumiéndose a continuación las condiciones operativas más importantes.

A partir de los resultados del análisis gráfico y el criterio de maximización de la respuesta y minimización de la desviación estándar se determinó que el mejor tratamiento o conjunto de condiciones dentro del rango de niveles estudiados es A (+), B (-), C (+), es decir, 0.04 g de wollastonita/mL de solución, 2.5 ppm Cr en solución y 50°C.

Asimismo, la ecuación de predicción del porcentaje remoción de Cr en función de los efectos e interacciones más significativos resultó en muy buenas correlaciones entre la información experimental y la predicha por esta ecuación.

Comparando los resultados de esta investigación con otros trabajos, se puede distinguir que éste es el único en donde se utiliza wollastonita natural para adsorción de iones Cromo (VI); en contraste con la investigación desarrollada por Sharma y colaboradores [5, 6], donde se utilizó wollastonita sintética.

Aunque los resultados de porcentaje de remoción de Cromo (VI) en ambas investigaciones son del mismo orden, el uso de materiales naturales en relación con el uso de materiales sintéticos hace más económicos los procesos a escala mayor; asimismo, se ponen de manifiesto una aplicación adicional de un mineral no metálico de gran importancia en el Estado de Sonora.

BIBLIOGRAFÍA

1) F. Ulrich, Changes in Metals Mobilities in Aquatic and Terrestrial Cycles, in Metals Speciation, Separation, and Recovery. Patterson, J.W. and Passino, R, Eds. Lewis Publishers, Inc. USA. 3-26, 1987.
2) M.E. Losi, C. Amrhein, and W.T. Frankenberger, Environmental Biochemistry of Chromium, Review of Environmental Toxicology. 136: 91-121, 1994.
3) A. Esmaeili, A. Mesdaghinia, and R. Vazirinejad, Chromium (III) Removal and Recovery from Tannery Wastewater by Precipitation Process, American Journal of Applied Sciences: 2 (10): 1471-1473, 2005.
4) C.D. Palmer, and P.R. Wittbrodt, Processes Affecting the Remediation of Chromium-Contaminated Sites, Environmental Health Perspectives. 92: 25-40, 1991.
5) Y.C. Sharma, Adsorption of Cr (VI) onto Wollastonite: Effect of pH, NISCAIR-CSIR, India, 186-190, 2001.
6) Y.C. Sharma, V. Uma, Srivastava, J. Srivastava, M. Mahto, Reclamation of Cr (VI) rich water and wastewater by wollastonite, Chemical Engineering Journal, 127, 151-156, 2007.
7) D.C. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, Primera Edición en español, editorial Iberoamérica., México D.F. 1991.
8) NYCO Minerals Inc., Premium Quality Wollastonite NYAD® M325. NYCO IN-299-04-01 Booklet, Nyco Minerals Inc., Willsboro NY., 2001.

INVESTIGACIÓN

EL GÉNERO AFECTA LAS PROPIEDADES CONTRÁCTILES DEL MÚSCULO SÓLEO EN DIABETES INDUCIDA EXPERIMENTALMENTE EN RATAS

ADOLFO VIRGEN ORTIZ, ALEJANDRO APOLINAR IRIBE

RESUMEN

Ratas hembras y machos, de tres meses de edad, fueron separados en dos grupos: no diabéticas (ND, peso corporal, 274 ± 9 g; nivel de glucosa en la sangre, 4,94 ± 0,22 mmol/L; n = 16) y diabéticas (D; peso corporal, 207 ± 8 g; nivel de glucosa en sangre, 28,39 ± 0,94 mmol/L; n = 16). La diabetes fue inducida por una sola dosis de 60 mg/Kg de estreptozotocina administradaintraperiton ealmente. Las ratas ND recibieron el mismo volumen de vehículo. Después de 4 semanas los animales fueron considerados diabéticos si su nivel de glucosa era ≥ 20 mmol/L. La masa y la contracción del músculo sóleo fueron mayores en machos ND que enlas hembras ND. En lasratas macho D disminuyó su masa muscular en un 34% y la fuerza de contracción disminuyó en un 33%; mientras que en las hembras D disminuyeron 15% y 10% respectivamente.

Palabras clave: diferencia de género, músculo esquelético, diabetes, estreptozotocina.

ABSTRACT

Three-month-oldfemale and maleSprague-Dawleyratsw ereseparatedintotwogroups: Non-Diabetic (ND; Bodyweight, 274± 9 gr; bloodglucoselevel, 4.94 ± 0.22 mmol/L; n =16) and Diabeticrats (D; Bodyweight, 207 ± 8 gr; bloodglucoselevel, 28.39 ± 0.94 mmol/L; n =16). Diabetes was induced by a single dose of 60 mg/kg of streptozotocin administered intraperitoneally. The animals in non-diabetic group received the same volume of vehicle. At 4 weeks after the injection of streptozotocin animals were considered to be diabetic if they had glucose levels ≥ 20 mmol/L. Soleus muscle mass and twitch force were higher in non-diabetic male than in non-diabetic female; in male rats, the diabetes decreased the muscle mass in 34% and the twitch force decayed in 33%; while diabetic females decayed 15% and 10% the muscle mass and contraction force respectively.

Keywords: *Sex difference, skeletal muscle, diabetes, streptozotocin.*

DR. ADOLFO VIRGEN ORTIZ
Centro Universitario de Investigaciones Biomédicas, Universidad de Colima,
Correo: avirgen@ucol.mx
DR. ALEJANDRO APOLINAR IRIBE
Departamento de Física,Universidad de Sonora,
Correo: apolinar@ciencias.uson.mx

*Autor para correspondencia: Dr. Alejandro Apolinar Iribe
Correo electrónico: apolinar@ciencias.uson.mx

Recibido: 27 de Marzo del 2015
Aceptado: 29 de mayo del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

La diabetes es un trastorno metabólico que ha crecido hasta convertirse en una pandemia. La prevalencia de la diabetes ha aumentado rápidamente desde 135 millones de casos en 1995 a un estimado de 380 millones de casos en 2025 [1]. Existen dos tipos de diabetes mellitus: Tipo 1 (DMT1) y Tipo 2 (DMT2). La DMT2 es la forma más común de diabetes, con más del 90% de los casos y su prevalencia varía entre diferentes grupos étnicos.

Por otra parte, la diabetes es considerada como una nueva epidemia en la población pediátrica de América y Europa: 3.9% de aumento anual durante los últimos años [2,3]. Es conocido que el hígado y el músculo esquelético son los principales órganos afectados por la DMT2 por sus complicaciones y la resistencia a la insulina, así como la neuropatía, enfermedades macrovasculares, retinopatía y nefropatía en la DMT1 [4]. La diabetes se caracteriza por síntomas clínicos que incluyen un déficit en la capacidad de desarrollar fuerza muscular, disminución tanto de la masa muscular como de la capacidad física, que se manifiestan como fatiga y por lo mismo afectando la calidad de vida. Estas alteraciones reducen progresivamente el rendimiento físico del paciente en sus actividades diarias [5, 6, 7]. En un estudio realizado con adultos mayores con DMT2, se observó que la fuerza muscular absoluta fue menor en los hombres diabéticos que los hombres no diabéticos, mientras que en las mujeres no se presentaron cambios. La calidad muscular (razón entre la fuerza y la masa muscular) fue significativamente menor en los hombres y mujeres con diabetes que aquellos sin diabetes [8]. Por otro lado, la pérdida de la actividad física de un paciente diabético a menudo conduce al aumento de la morbilidad y la mortalidad, así como a enfermedades cardiovasculares y respiratorias [9]. El músculo es el regulador más importante de la glucosa circulante mediado por un mecanismo dependiente de la insulina y, una señalización deficiente de esta hormona tiene un efecto perjudicial sobre la absorción de glucosa [10, 11].

De acuerdo con la clasificación propuesta por la Asociación Americana de la Diabetes, la diabetes puede ser inducida por drogas o productos químicos [12]. De todos los compuestos químicos, la estreptozotocina (STZ) y el aloxano son los más usados para inducir diabetes. El procedimiento de la destrucción selectiva de las células β, productoras de insulina del páncreas, con una sola dosis de STZ, para inducir DMT1 fue realizado por primera vez en 1963 y su mecanismo ha sido analizado en detalle en una revisión posterior [13]. El tipo de diabetes experimental que se puede inducir es dependiente de la dosis y el número de administraciones de STZ que se utilicen [14].

Aunque los efectos de la diabetes sobre el músculo esquelético se han investigado, existe una falta de conocimiento sobre los efectos de género y los cambios en el músculo esquelético en pacientes jóvenes producidos por la diabetes. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio es realizar un análisis comparativo de las propiedades contráctiles y de la masa muscular del músculo sóleo, entre ratas hembras y machos, a las cuales se les indujo experimentalmente diabetes con estreptozotocina.

MÉTODOS

El cuidado de los animales y los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad de Colima. Se utilizaron 32 ratas de la cepa Sprague-Dawley (tres meses de edad), hembras (n = 16) y machos (n = 16), divididas en dos grupos experimentales: No diabéticos [ND, peso corporal (274 ± 9 g); nivel de glucosa en sangre (4.94 ± 0,22 mmol /L); n = 16] y diabéticas [D; peso corporal (207 ± 8 g); nivel de glucosa en la sangre (28.39 ± 0.94 mmol/L); n = 16]. La diabetes fue inducida por administración intraperitoneal de una sola dosis de 60 mg/kg de peso corporal de STZ preparada en un buffer de citrato pH 4.5 [15]. Los animales del grupo no diabético recibieron un volumen del vehículo equivalente al utilizado para inducir la diabetes. Una semana después se determinó la glucosa en sangre en las ratas D para confirmar la hiperglicemia y a las 4 semanas después de la inyección de STZ los animales fueron considerados diabéticos si mantenían niveles de glucosa ≥ 20 mmol/L [16]. La glucosa se determinó con un glucómetro de Roche por la técnica de la glucosa oxidasa en muestras de sangre completa obtenidas de la cola de la rata.

Cirugía y condiciones experimentales

Después de 4 semanas con hiperglicemia se realizaron los estudios de contractilidad en el músculo sóleo de las ratas de todos los grupos experimentales (ND y D de ambos sexos). El procedimiento fue el siguiente: las ratas fueron anestesiadas mediante inyección intraperitoneal con pentobarbital sódico (50 mg / kg). Posteriormente, el músculo sóleo derecho se disecó de los tejidos adyacentes, dejando la inserción ósea y el suministro de sangre intacta y se procedió a cortar el tendón distal del músculo y se ató con un hilo seda a un gancho de acero inoxidable para su posterior montaje. Además, el nervio ciático fue separado usando disectores de cristal para su manipulación, se cortó lo más lejos posible de su entrada en el músculo, y se ató de su parte distal con hilo seda para su montaje. Finalmente, se realizó un orificio transversal en el fémur utilizando un micro-taladro (F.S.T.18000-17; Fine Science Tools, Foster City, CA, USA). Durante la cirugía se utilizó una solución salina para proteger a los músculos: NaCl 125 mM; KCl 5.4 mM; MgCl2 1.05 mM; CaCl2 1.8 mM; y glucosa 11 mM, pH = 7,4.

A continuación, cada rata fue colocada en un sistema para registro mecánico que consiste en una placa montada sobre una base inclinada que permitió exponer el músculo perpendicularmente a un transductor de fuerza-desplazamiento (FT10; Hierba Co., Quincy, MA, EE.UU.). La placa consta de dos postes que sostienen la varilla de acero que pasa a través del agujero en el fémur.

El transductor de fuerza-desplazamiento se montó sobre un actuador impulsado por un motor de pasos controlado por una computadora y conectado a un convertidor A/D para permitir la visualización y el almacenamiento de las respuestas de la tensión isométrica. El gancho atado al tendón fue unido al transductor y el nervio ciático se colocó sobre un par de electrodos de estimulación (S88; Hierba Co.).

Medición de las propiedades mecánicas

Variando la longitud del músculo, se registraron sacudidas musculares únicas utilizando estimulación eléctrica supramaximal (3 voltios) hasta obtener la longitud óptima (Lo), definida como aquélla donde se registra la amplitud máxima de la sacudida muscular. En Lo, se registraron sacudidas musculares únicas y tétanos a diferentes frecuencias de estimulación (10-60 Hz) con incrementos de 10 Hz. Entre cada registro se dejaron reposos de 100 s.

Al final de los experimentos, el músculo sóleo derecho de cada rata estudiada fue extirpado y pesado en una balanza analítica (Sartorius, Edgewood, NY, EE.UU), y los animales fueron sacrificados por sobredosis de anestésico (150 mg/kg, por vía intraperitoneal).

Parámetros contráctiles. En los registros mecánicos obtenidos del músculo sóleo se evaluó el tiempo de contracción durante una sacudida muscular simple, definido como el tiempo que transcurre desde que inicia la contracción hasta que se alcanza el pico máximo de fuerza; también se determinó el tiempo medio de relajación, definido como el tiempo que transcurre desde que inicia la relajación hasta que disminuye un 50% la fuerza máxima alcanzada durante la contracción. Los tiempos de contracción y relajación fueron expresados en milisegundos (ms).

Las fuerzas máximas obtenidas a diferentes frecuencias de estimulación (tetános) fueron expresadas en newtons (N) y como la función contráctil del músculo esquelético es dependiente de la cantidad de masa muscular y a continuación, para la comparación entre los grupos se utilizó el concepto de calidad de músculo, el cual se define como la razón de la fuerza y la masa muscular [8].

Análisis estadístico

Un análisis comparativo entre pares fue realizado mediante una prueba t-student con un nivel de significancia del 95%. Las tensiones obtenidas a diferentes frecuencias se compararon con un análisis de varianza de un factor y una prueba post hoc de Tukey. Todas las diferencias entre grupos fueron consideradas significativas si $p \leq 0,05$. El análisis estadístico se realizó con el software de Minitab Release versión12.

RESULTADOS

La masa del músculo sóleo fue mayor en machos ND en comparación con las hembras ND. En las ratas macho la diabetes disminuyó la masa muscular en 34% (ND: 0.24 ± 0.02 g; D: 0.16 ± 0.01 g); mientras que en el caso de las hembras la masa muscular disminuyó en 15% (ND: 0.14 ± 0.01 g, D: 0.12 ± 0.01 g). Se estudiaron los tiempos de contracción y relajación durante la sacudida simple del músculo sóleo. La diabetes no afectó el tiempo de contracción muscular y los tiempos medios de relajación en las hembras. Sin embargo, en los machos la diabetes aumentó significativamente dichos parámetros ($p < 0.05$, figura 1). En relación con la fuerza tetánica máxima desarrollada por el músculo sóleo a diferentes frecuencias de estimulación, los machos desarrollaron significativamente más fuerza tetánica que las hembras ($p < 0.05$, figura 2) y la diabetes reduce el desarrollo de la fuerza tanto en hembras como machos, en tanto, el efecto de la diabetes sobre el desarrollo de la fuerza tetánica es mayor en machos que en las hembras. La calidad del músculo fue menor en las ratas diabéticas (Figura 3), y el efecto de la diabetes fue significativamente mayor en los machos en comparación con las hembras ($p < 0,05$).

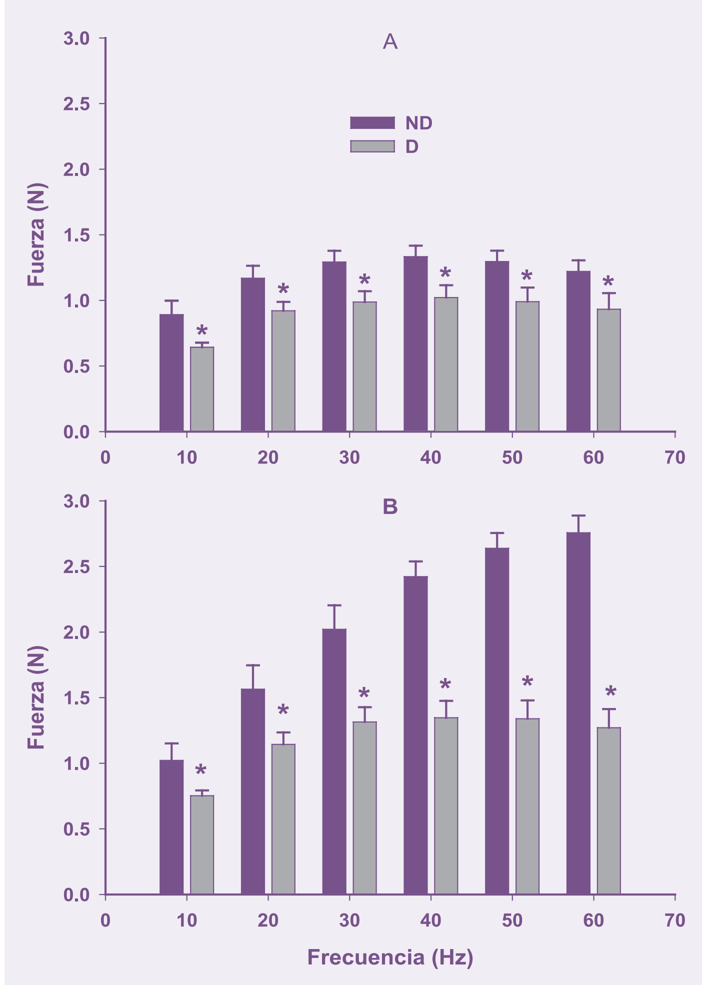


Figura 1. Contracción (A) y tiempo de relajación medio (B) en una sacudida simple del músculo sóleo. ND: ratas no diabéticas y D: ratas diabéticas. Los datos corresponden a medias ± error standard. * $p < 0.05$.

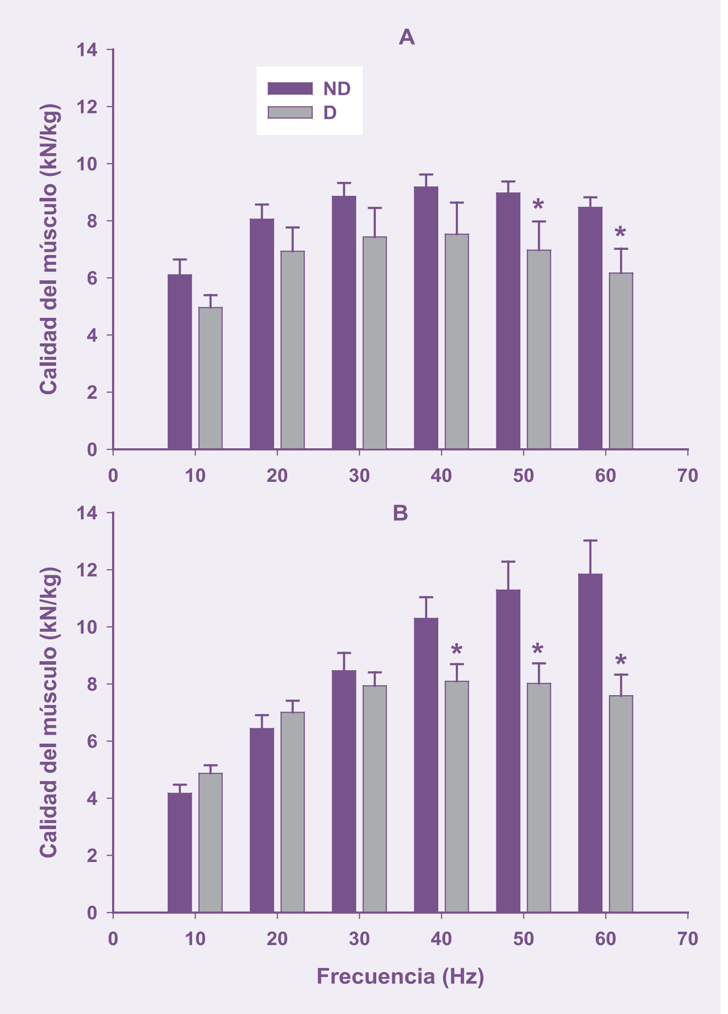


Figura 2. Fuerza tetánica máxima desarrollada por el músculo sóleo en ratas hembras (A) y (B) en ratas machos, a diferentes frecuencias. ND: ratas no diabéticas y D: ratas diabéticas. Los datos corresponden a medias ± error standard. * $p < 0.05$.



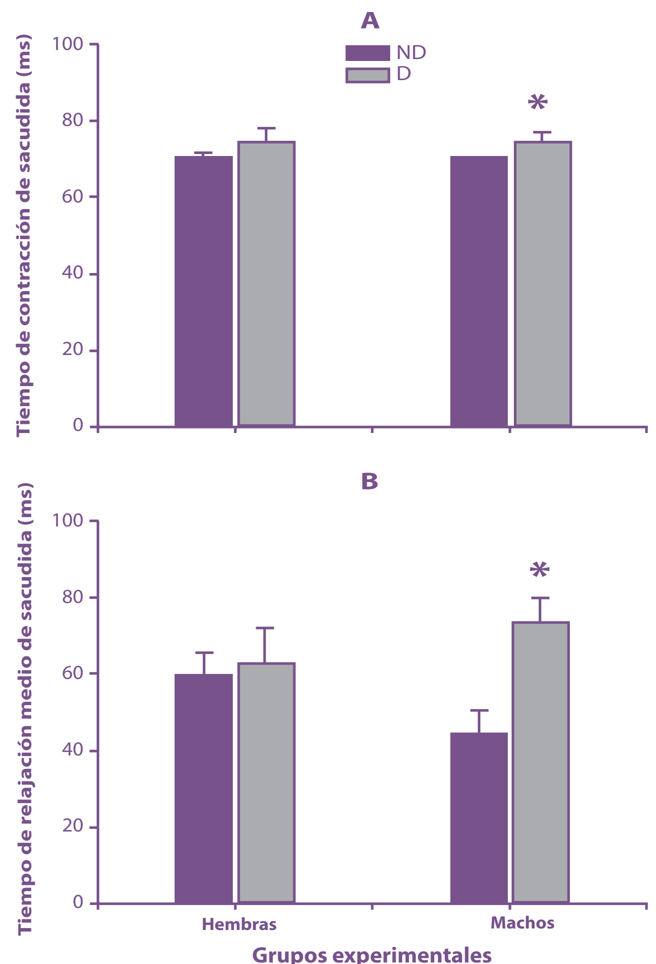


Figura 3. Calidad del músculo sóleo en ratas hembras (A) y en ratas machos (B). ND: ratas no diabéticas y D: ratas diabéticas. Los datos corresponden a medias ± error standard. * $p < 0.05$.

DISCUSIÓN

Se estudió el efecto de la diabetes experimental sobre la masa y las propiedades contráctiles del músculo sóleo de ratas jóvenes desde el punto de vista de la diferencia de sexo. En la literatura existen pocos estudios realizados para entender las diferencias de género en el deterioro del músculo esquelético inducido por diabetes. Un estudio realizado en adultos mayores con diabetes tipo 2 mostró una disminución significativa en la fuerza muscular en los hombres, pero no en las mujeres. Además, la calidad muscular fue significativamente menor en las mujeres y hombres con diabetes que los no diabéticos [8].

En el presente estudio, un modelo de diabetes experimental en ratas jóvenes mostró que la fuerza de contracción absoluta disminuyó significativamente en machos pero en las hembras no cambió significativamente. Además, hemos encontrado que la fuerza tetánica absoluta y la calidad del músculo disminuyeron significativamente

Adolfo Virgen Oritz et al.: UNISON / EPISTEMUS 18 / Año 9/ 2015/ pág.: 23-28



tanto en las hembras como en machos diabéticos, con un mayor efecto en los machos, lo que demuestra que los machos son más susceptibles al daño muscular en diabetes inducida experimentalmente que las hembras.

En los machos diabéticos, los tiempos de relajación-media y de contracción del músculo sóleo aumentaron respecto a los machos no diabéticos, lo que es consistente con otros estudios [17, 18]. Otro resultado importante de nuestro estudio es que el tiempo de relajación-media y de contracción del músculo sóleo no fue alterado significativamente en las hembras diabéticas. Aun cuando nuestros resultados se encontraron en músculo sóleo, el cual es un músculo lento y mayormente oxidativo, tanto en roedores como en humanos; resultados similares se encontraron utilizando el músculo extensor largo de los dedos de ratas hembras no diabéticas y diabéticas [19], el cual es un músculo rápido y no oxidativo. Los cambios mostrados en el tiempo de contracción en los machos diabéticos podrían haber sido evocados por un aumento de la sensibilidad al Ca2+ [20] y una disminución de la liberación de Ca2+ inducida por un aumento en la expresión de la calsecuestrina [21,22], la principal proteína fijadora de calcio del retículo sarcoplásmico, mientras que el aumento en el tiempo de relajación-medio podría estar asociado a problemas con la recaptura de Ca2+ por el retículo sarcoplásmico [23]. En los machos diabéticos, el aumento en los tiempos de relajación y contracción-media, así como la reducción en la producción de la fuerza en el músculo sóleo también puede estar relacionado con un aumento en la proporción de fibras oxidativas lentas a expensas de una reducción en las fibras oxidativas glicolíticas rápidas [17].

Una posible explicación para las diferencias en la masa muscular y las propiedades contráctiles del músculo sóleo en machos y hembras diabéticas podría ser la reducción en los niveles de la hormona testosterona, cuya disminución ha sido asociada a estos cambios [24]. Similarmente, un estudio encontró que la reducción de los niveles de testosterona induce una disminución de la fuerza específica, el área de corte transversal de las fibras tipo II y la isoforma de miosina de cadena pesada MHC tipo IIB [25].

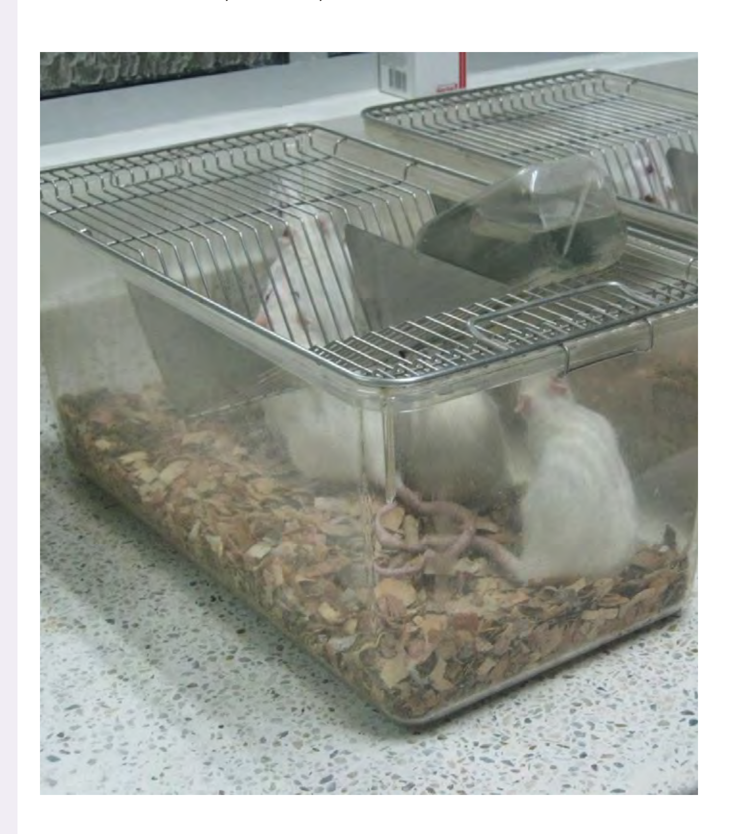
Por otro lado, el estrógeno puede afectar el metabolismo, tamaño, generación de la fuerza, la función y los mecanismos de daño/reparación muscular [26]. Los estudios sugieren que el efecto del género y el estrógeno en el músculo esquelético dependen del tipo muscular. Recientemente, se encontró que en el músculo sóleo de ratas preñadas (niveles altos de estrógeno) aumenta la resistencia a la fatiga con respecto a la ratas no embarazadas [27], en ambos, no hay alteración de la resistencia a la fatiga en el músculo EDL [28]. Por lo tanto, nuestros resultados podrían explicarse por la capacidad de los estrógenos para reducir el estrés oxidativo y la promoción de la formación de puentes cruzados [29], sin embargo es necesario realizar investigaciones futuras.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran evidencia experimental que el sexo es un factor importante en los efectos que produce la diabetes sobre la masa muscular y las propiedades contráctiles del músculo sóleo de rata joven. Por lo tanto estudios sobre la influencia de sexo son necesarios para mejorar la comprensión de las alteraciones funcionales presentadas en los pacientes diabéticos y en el futuro puedan recibir atención médica más apropiada y tener una mejor calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

1) S. Golbidi, M. Badran and I. Laher, Antioxidant and anti-Inflammatory effects of exercise in diabetic patients, Exp. Diabetes. Res. 1-16, doi: 10.1155/2012/941868. 2012.
2) F. R. Kaufman, Type 2 diabetes in children and young adults: A "New Epidemic", Clinical Diabetes, vol. 20, 217-218, 2012.
3) S. Williamson, The best model of care for children and young people with diabetes, J. R. College of Physicians Edinb., vol. 40, 25-32, 2010.
4) M. Brownlee. The pathobiology of diabetic complications: a unifying mechanism, Diabetes, vol. 54, 1615–1625, 2005.
5) B. Ryerson, E. F. Tierney, T. J. Thompson, M. M. Engelgau, J. Wang, E. W. Gregg and L. S. Giss . Excess physical limitations among adults with diabetes in the U.S. population, 1997–1999, Diabetes Care, vol. 26, 206–210, 2003.
6) H. Andersen, O. Schmitz and S. Nielsen, Decreased isometric muscle strength after acute hyperglycaemia in type 1 diabetic patients, Diabet Med, vol. 22, 1401–1407, 2005.
7) H. Andersen, M. D. Gjerstad and J. Jakobsen, Atrophy of foot muscles: a measure of diabetic neuropathy, Diabetes Care, vol. 27, 2382–2385, 2004.
8) S. W. Park, B. H. Goodpaster, E. S. Strotmeyer, N. de Rekeneire, T. B. Harris, A. V. Schwartz, F. A. Tylavsky and A. B. Newman et al. Decreased muscle strength and quality in older adults with type 2 diabetes: the health, aging, and body composition study. Diabetes, vol. 55, 1813-1818, 2006.
9) I. Güller and A. P. Russell, MicroRNAs in skeletal muscle: their role and regulation in development, disease and function, J. Physiol, vol. 588, 4075-4087, 2010.
10) D. H. Wasserman, Four grams of glucose, Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab., vol. 296, E11–E21, 2009.
11) K. Ohlendieck, Pathobiochemical changes in diabetic skeletal muscle as revealed by mass-spectrometry-based proteomics, J. Nutr. Metab. 1-12, 2012.
12) American Diabetes Association, Diagnosis and classification of diabetes mellitus, Diabetes Care, vol. 27, s5-s10, supplement 1. 2004.
13) T. Szkudelski, The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas, Physiol. Res, vol. 50, 536-546, 2001.
14) J. Ventura-Sobrevilla, V. D. Boone-Villa, C. N. Aguilar, R. Ramán-Ramos, E. Vega-Ávila, E. Campos-Sepúlveda and F. Alarcón-Aguilar, Effect of varying dose and administration of streptozotocin on blood sugar in male CD1 Mice. Proc. West. Pharmacol. Soc., vol. 54, 5-9, 2009.
15) A. Gajdosik, A. Gajdosíková, M. Stefek, J. Navarová and R. Hozová, Streptozotocin-induced experimental diabetes in male wistar rats, Gen. Physiol. Biophys., vol. 18, 54-62, 2009.
16) J. T. Cheng, C. C. Huang, I. M. Liu, T. Thing-Fong and C. J. Chang, Novel mechanism for plasma glucose-lowering action of metformin in streptozotocin-induced diabetic rats, Diabetes, vol. 55, 819-825, 2006.
17) M. Cotter, N. E. Cameron, D. R. Lean and S. Robertson, Effects of long-term streptozotocin diabetes on the contractile and histochemical properties of rat muscles, Q. J. Exp. Physiol., vol. 74, 65-74, 1989.
18) M. Mcguire and M. Macdermott, The influence of streptozotocin diabetes and metformin on erythrocyte volume and on the membrane potential and the contractile characteristics of the extensor digitorum longus and soleus muscles in rats, Exp. Physiol., vol. 84, 1051-1058, 1999.
19) K. Asghar, F. Majeed and S. Arshad, Skeletal muscle contractile functions in streptozotocin induced type 1 diabetes mellitus, Pak. J. Physiol., vol. 8, 27-31, 2012.
20) G. M. Stephenson, A. O'Callaghan and D. G. Stephenson, Single-fiber study of contractile and biochemical properties of skeletal muscles in streptozotocin-induced diabetic rats, Diabetes, vol. 43, 622-628, 1994.
21) P. Novák and T. Soukup, Calsequestrin distribution, structure and function, its role in normal and pathological situations and the effect of thyroid hormones, Physiol. Res., vol. 60, 439-452, 2011.
22) F. C. Howarth, L. Glover, K. Culligan, M. A. Qureshi and K. Ohlendieck, Calsequestrin expression and calcium binding is increased in streptozotocin-induced diabetic rat skeletal muscle though not in cardiac muscle, Pflugers Arch-Eur J. Physiol., vol. 444, 52-58, 2002.
23) M. Cotter M, N. E. Cameron, S. Robertson and I. Ewing, Polyol pathway-related skeletal muscle contractile and morphological abnormalities in diabetic rats, Exp. Physiol., vol. 78, 139-155, 1993.
24) P. M. Choi, J. W. Choi, H. N. Chaudhari, K. R. Asser, R. Mukherjee and J. W. Yun, Gender-dimorphic regulation of skeletal muscle proteins in streptozotocin-induced diabetic rats, Cell Physiol. Biochem., vol. 31, 408-420, 2013.
25) D. J. Prezant, M. L. Karwa, H. H. Kim, D. Maggiore, V. Chung and D. E. Valentine, Short- and long-term effects of testosterone on diaphragm in castrated and normal male rats, J. Appl. Physiol, vol. 82, 134–143, 1997.
26) P. M. Tiidus, Influence of estrogen on muscle plasticity, Brazilian Journal of Biomotricity, vol. 5, 143-155, 2011.
27) A. Virgen-Ortiz, A. Apolinar-Iribe and J. Muñiz, Differential effects of pregnancy on contractile behavior of rat fast and slow skeletal muscles, Bratislava Medical Journal, vol. 115, 389-394, 2014.
28) P. M. Tiidus, N. M. Bestic and R. Tupling, Estrogen and gender do not affect fatigue resistance of extensor digitorum longus muscle in rats, Physiol. Res., vol. 48, 209-213, 1999.
29) G. Perseghin, G. Lattuada and M. Danna, Insulin resistance, intramyocellular lipid content, and plasma adiponectin in patients with type 1 diabetes, Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. vol. 285, 1174–81, 2002.



Adolfo Virgen Oritz et al.: UNISON / EPISTEMUS 18 / Año 9/ 2015/ pág.: 23-28

CREENCIAS Y CONCEPCIONES DE LOS PROFESORES DE SECUNDARIA SOBRE LA ENSEÑANZA DE LAS ISOMETRÍAS. EL CASO DE LA REFLEXIÓN

MARÍA MERCEDES CHACARA MONTES*, CRUZ EVELIA SOSA CARRILLO

RESUMEN

Esta investigación de la Enseñanza de la Geometría se desarrolla con un estudio exploratorio de profesores de Matemáticas de secundaria. Su objetivo es detectar creencias y concepciones del profesor, respecto al concepto de isometría en particular el de "reflexión".

Para detectar creencias y concepciones del profesor fue necesario adecuar un modelo teórico que nos permitiera diseñar un instrumento diagnóstico y nuestra intervención. El diseño del modelo se basó en la teoría de Van Hiele y la Taxonomía SÓLO (Estructura del resultado observado del aprendizaje), denominándolo "Niveles de Razonamiento-Calidad".

Se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos encontrando variables relacionadas con la Formación Profesional y el manejo de los conceptos del profesor, por lo que recurrimos a la Técnica Multivariante por Discriminante.

Las isometrías representan un reto en su enseñanza porque además de la dificultad teórica de los conceptos relacionados está implicado el movimiento.

Palabras clave: Isometría, reflexión, creencias y razonamiento.

ABSTRACT

This research was developed in the context of teaching geometry through an exploratory study with high school mathematics teachers.This research was done in order to know the beliefs and conceptions of the teacher about the isometry concept, particularly the "reflection".

To detect beliefs and conceptions in the teacher it was necessaryto adapt a model that allowed us to design a diagnostic instrument and our intervention. The design of that model is based on the theory of Van Hiele and the SÓLO Taxonomy (Structure of Observed Learning Outcomes), the model was called "Levels of Reasoning –Quality".

In this work, we did a qualitative and quantitative analysis of the results of the exploratory study, and found variables related with the Professional training and the management of concepts by the teachers. We use for that analysis statistics multivariate techniques.

The isometry concept is a challenge for teachers and students, because it is theoretically difficult and involves movement.

Keywords: Isometry, reflection, beliefs, reasoning.

M.C. MARÍA MERCEDES CHACARA MONTES
Depto. de Matemáticas, Universidad de Sonora
Correo: meche@gauss.mat.uson.mx
DRA.CRUZ EVELIA SOSA CARRILLO
Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey
Correo: evsosa@itesm.mx

*Autor para correspondencia: M.C. María Mercedes Chacara Montes
Correo electrónico: meche@gauss.mat.uson.mx
Recibido: 15 de Marzo del 2015
Aceptado: 22 de Mayo del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de una investigación amplia, que tiene como objetivo general detectar dificultades didácticas generadas por creencias y concepciones del profesor de Matemáticas de Secundaria, respecto al concepto de isometría en particular la reflexión como un caso particular de ésta. Se trata además de analizar y documentar el cambio positivo que sufren esas concepciones y creencias, después de una secuencia didáctica, estratégicamente diseñada, basada en los lineamientos del nuevo Modelo Niveles de Razonamiento-Calidad (una adecuación de las características de los niveles de Van Hiele desde la perspectiva de los objetivos geométricos y de la Taxonomía SÓLO). De esta forma se da a conocer una parte de nuestra investigación: El modelo como aportación y los resultados del estudio exploratorio.

CREENCIAS Y CONCEPCIONES

Denominamos creencias a las ideas "poco elaboradas", generales o específicas, que forman parte del conocimiento que posee el docente, pero carecen de rigor matemático, e influyen de manera directa en su tarea docente. A estas creencias se les asigna suficiente validez, verdad o credibilidad como para guiar el pensamiento y la conducta.

La concepción consiste en la estructura ordenada y sistémica que cada profesor de Matemáticas establece en el conjunto de sus conocimientos, con el fin de transmitirlos a sus estudiantes [1].

Las creencias y concepciones que posee el profesor influyen de manera directa en el aprendizaje de las Matemáticas.

Esta problemática se puede observar en los resultados por Escuela Evaluada 2011 del Estado de Sinaloa donde el tema que menor porcentaje de aciertos presenta es el de isometrías (transformaciones geométricas) [2].

En este marco referencial y en atención al problema de la enseñanza de las isometrías, destacaremos que una de nuestras hipótesis es: "el profesor confunde el concepto de Simetría con una de las transformaciones isométricas (Reflexión)". Hecho que observamos en nuestras experiencias y en trabajos previos ([3], [4]). En Europa, por ejemplo, ante la uniformización de los currículos en las últimas décadas han surgido investigaciones enfocadas en la enseñanza de las transformaciones geométricas; en ellas se destacan las dificultades de llamar simetría axial a la reflexión (incluso en libros de texto) pues trae como consecuencia que el profesor confunda la simetría con movimiento [5]. Nuestra concepción de la simetría es la usada en matemáticas superiores y en otras disciplinas como Física, Química, Geología, etc. En nuestro ámbito existen libros, incluso de niveles básicos en Estados Unidos, que usan el concepto matemáticamente correcto de simetría ([6], [7], [8]).

Por lo anterior, en este trabajo, damos especial énfasis a la reflexión con respecto a un eje. Esta isometría tiene la propiedad de generar a todas las demás isometrías por composición de reflexiones.

MODELO NIVELES DE RAZONAMIENTO - CALIDAD

Fue necesario revisar la importancia y la evolución histórica de las transformaciones geométricas, para adoptar algunas hipótesis sobre las dificultades en la enseñanza y diseñar un modelo que permitiera:

a) Explorar las concepciones y las creencias sobre el concepto de isometría (con énfasis en la reflexión).
b) Clasificar a cada profesor (en algún nivel de Razonamiento) y evaluar su progreso. La evolución del razonamiento en el profesor y la calidad del mismo.
c) Apoyar en el diseño de actividades que permitan al profesor pasar al siguiente nivel de razonamiento y, por consecuencia, reducir las dificultades y creencias sobre el concepto de isometría.

El modelo es una fusión de dos teorías: el Modelo de Van Hiele y la Taxonomía SÓLO (ambos de origen piagetiano) basado de manera puntual y en lo expuesto en [9], [10] y [11], y una adecuación para el trabajo con profesores. Denominándolo: Niveles de Razonamiento-Calidad.

Debido al trabajo con profesores fue importante realizar adecuaciones, por ejemplo, en los diferentes niveles de razonamiento se hacen de manera implícita y explicita competencias profesionales que un profesor debe poseer como es el manejo de los conceptos y la competencia relacionada con los diversos mecanismos para reproducir figuras (como producto de ciertos movimientos): dibujar, construir con material manipulativo (espejos, doblado de papel, mosaicos, etc.) o software de Geometría Dinámica. Además en el modelo Niveles de Razonamiento-Calidad se muestran los objetivos geométricos que el profesor debe alcanzar con cierto nivel y calidad, los cuales implican diferentes tipos de situaciones cognitivas y de procedimiento.

Así, de acuerdo al modelo Niveles de Razonamiento-Calidad, un profesor podría estar en algunos de estos niveles: Nivel 1 (Reconocimiento), Nivel 2 (Análisis), Nivel 3 (Clasificación) y Nivel 4 (Prueba). Donde la calidad que se encuentra en cada nivel está dada a través de otros subniveles: Pre-estructural, Uni-estructural, Multi-estructural, Relacional y de Abstracción, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los objetivos geométricos por Nivel y calidad.

Nivel 1 de Razonamiento	Descripción
Reconocimiento	En general, los conceptos son considerados de forma global, no se tienen en cuenta ni elementos ni propiedades, pudiendo incluir en las descripciones atributos irrelevantes. En este nivel no generaliza características de una figura a otras de su misma clase.
Calidad de Respuesta en el Nivel 1	
Pre-estructural: -Se conocen conceptos y propiedades asociados, como elementos nominales. Por ejemplo: reflejo, espejo. - Se incluyen generalizaciones de atributos irrelevantes tales como que el espejo es vertical siempre. - Con un espejo puede observar reflejos de figuras y objetos. - Intenta dibujar el reflejo de una figura. **Uni-estructural:** Reconoce que hay un movimiento o reconoce que hay un eje. **Multi-estructural:** Reconoce que hay un movimiento y un eje relacionado con ese movimiento. **Relacional:** - Elije un punto de la figura y encuentra su reflejo (con material concreto). - Relaciona el movimiento con el eje. -Dado un conjunto de figuras trata de identificar las que pueden tomarse una como imagen reflejada de la otra con respecto a un eje (espejo imaginario). Trata de justificar sus respuestas. **Abstracción:** Hasta el momento intenta concluir tomando en cuenta lo experimentado, es decir: Sobre las características que no varían (permanecen invariantes) entre el objeto (o figura) y su reflejo. Y la forma en que están colocadas las figuras y sus reflejos.	
Nivel 2 de Razonamiento	Descripción
Análisis	El profesor debe comprender la importancia de emplear una definición de un objeto matemático. Poder delimitar, es decir, poder expresar las propiedades del objeto matemático que lo distinguen de los demás. El profesor en este momento, identifica y generaliza propiedades informalmente, pero no establece relaciones entre ellas y todo descubrimiento o verificación lo hace a través de la experimentación; por otra parte, los conceptos los define dando ciertos detalles de propiedades, agregando algunas innecesarias u omitiendo otras imprescindibles.
Calidad de respuesta en el Nivel 2	
Pre-estructural: - Comprende que debe atender una definición del objeto geométrico. No trata de apropiarse del objeto sólo a través del sentido común. -Intenta experimentar con diferentes puntos de la figura. -Intenta dibujar el reflejo de otra figura con ejes distintos al vertical. **Uni-estructural:** Enuncia que al reflejar las figuras mantienen sus características (invariantes) pero además de manera informal comenta que el eje de reflexión (espejo imaginario o doblez de papel) se encuentra en medio de la figura original y su reflejo. **Multi-estructural:** -Al unir con una línea un punto de la figura y el reflejo de éste, inicia las mediciones del punto original al eje y del eje al punto reflejado. De la misma forma lo intenta para más puntos de la figura. -Observan detalles con respecto al punto anterior, es decir, identifican que se conservan las características de la figura. Por ejemplo, lados, ángulos etc. - Identifica que un punto de la figura original tiene igual distancia al eje de reflexión que su homólogo en la figura reflejada. **Relacional:** Relaciona informalmente las estructuras identificadas. Por ejemplo, puede comprender (en algunos casos particulares prototípicos) que la figura conserva su tamaño y forma, pero que además la transformación de usar el eje de reflexión (espejo) tiene características propias: en una reflexión cada punto del objeto original tiene su homólogo a igual distancia respecto del eje y que además el segmento de recta que une el punto original de su homologo es perpendicular al eje de reflexión (espejo). **Abstracción:** Generaliza que la Reflexión es una transformación Isométrica (o movimiento isométrico por lo que siempre la figura conserva su tamaño y forma) , indica la importancia de la existencia del eje de reflexión, de la equidistancia de un punto de la figura original (p) al eje y de este al punto reflejado(p´), y la perpendicularidad (del segmento pp' con respecto al eje de reflexión) -Logra establecer una definición con sus propias palabras, no necesariamente correcta, pero con una estructura formal. Tal vez enuncie un conjunto mínimo de condiciones para decir que una figura sea reflejo de otra.	
Nivel 3 de Razonamiento	Descripción
Clasificación	El profesor realiza clasificaciones de los objetos geométricos y descubre nuevas propiedades o relaciona las ya conocidas por medio del razonamiento informal. Puede dar argumentos deductivos informales para demostrar sus conjeturas. Describe los objetos geométricos de manera formal, es decir, que comprende el papel de las definiciones y los requisitos de una definición correcta.

<table>
<tr><td colspan="2">Calidad de respuesta en el nivel</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pre-estructural:
-Dada una figura y su reflejo encuentra el eje de reflexión.
- De manera informal comenta que el eje es único.
- Uniestructural:
- Intenta justificar de manera puntual: que dado un punto P y su reflejo P’ existe sólo un eje de reflexión (el cual es mediatriz del segmento de recta PP’).
- Puede realizar una reflexión seguida de otra (con ejes paralelos y no paralelos). Todavía no la identifica como una composición de reflexiones.
- Observa que una composición de reflexiones no es otra reflexión:
- Una composición de reflexiones cuyos ejes son paralelos es otra transformación llamada traslación.
-Una composición cuyos ejes no son paralelos es otra transformación llamada rotación cuyo centro es el punto de corte entre los ejes y cuyo ángulo es el doble del ángulo formado por los ejes. Aunque a la composición de reflexiones no la nombre como tal, sino como una reflexión seguida de otra.
Multiestructural: Enuncia lo vivenciado al trabajar una reflexión seguida de otra con ejes paralelos y no paralelos. No logra generalizar la relación entre las isometrías.
Relacional:
-Observa que una reflexión es un movimiento isométrico (una transformación), al igual que la rotación y la traslación. Las cuales conservan tamaño y forma en las figuras.
-Relaciona la reflexión con las otras isometrías (rotación y traslación).
Abstracción:
Logra una definición formal de reflexión (dadas varias propiedades o condiciones, selecciona un conjunto mínimo de manera que definan una reflexión).
Logra un resumen de lo observado, generalizando que la reflexión tiene la propiedad de generar las demás isometrías.</td></tr>
<tr><td>Nivel 4 de Razonamiento</td><td>Descripción</td></tr>
<tr><td>Prueba</td><td>El profesor realiza razonamientos lógicos formales, relacionando implicaciones simples para llegar desde la hipótesis hasta la tesis. Acepta la existencia de definiciones equivalentes y de demostraciones alternativas. Comprende la estructura axiomática de las matemáticas.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Calidad de respuesta en el nivel 4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Preestructural:
-Intenta experimentar, no sólo con una figura, sino con otras figuras bidimensionales como los mosaicos o teselaciones: Dadas ciertas parejas de teselaciones (en acetatos) el profesor realizará diferentes movimientos. Tratando de encontrar que transformación deja invariante el espacio bidimensional.
Uniestructural:
- Describe detalladamente las transformaciones que dejan invariantes las configuraciones definidas por las respectivas teselaciones.
- Intenta la reflexión de una figura más compleja que los objetos geométricos prototípicos, (teselaciones) sin evaluar el espacio resultante.
Multiestructural: Intenta la reflexión de un mosaico o teselación, experimentando diferentes ejes (vertical y horizontal). Observando que al reflejar con cierto eje la configuración de la teselación no permanece invariante.
Relacional: En cualquier situación, tal como reflejar una figura o comparar reflexiones dadas, identifica que ciertas reflexiones dejan el espacio bidimensional invariante. Explica, que por lo menos en un ejemplo (de las parejas de teselaciones o mosaicos) en donde al aplicar una reflexión la configuración la teselación no permanece invariante.
Abstracción:
El profesor inicia la comprensión de la relación reflexión – simetría de manera formal. Comprenden a los conceptos de reflexión y simetría como objetos diferentes, aunque estén relacionados. Pudiendo enunciar que no toda reflexión genera una simetría, y que una simetría puede generarse o no por otras transformaciones.
Intenta una definición de simetría.</td></tr>
</table>

LA MUESTRA

Con base en el modelo se diseñó el instrumento diagnóstico y se aplicó a un grupo de 23 profesores de secundaria (en activo) del Estado de Sinaloa. Todos estaban inscritos en un diplomado sobre Didáctica y Contenidos Matemáticos, por parte de la Secretaría de Formación Continua de la Secretaría de Educación Pública. El perfil profesional de los profesores de la muestra es heterogéneo, como resultado de la convocatoria nacional para el otorgamiento de plazas docentes de la SEP. Se dispuso de profesores con diferentes licenciaturas y con la Formación Matemática. Entendiendo por Formación Matemática poseer la especialidad en Matemáticas o Educación Matemática (licenciatura o maestría).

CUESTIONARIO DIAGNÓSTICO

Nombre____
Formación profesional _______________ Antiguedad ___________
Lugar donde labora___________________________

1) ¿Consideras importante hablar de movimientos en geometría?, justifique su respuesta.

2) ¿Qué tipo de transformaciones abordas en la clase de geometría?

3) ¿Manejas en clase el concepto de homotecia?, ¿Cómo introduces el concepto? Menciona algunos materiales de apoyo para este concepto.

4) ¿Cómo les presentas el concepto de isometría a los alumnos? ¿Qué movimientos isométricos les mencionas?

5) ¿Cómo relacionas el concepto de isometría con el de simetría?

En las preguntas 6 y 7 marque y justifica tu respuesta.

6) En tus clases se realizan actividades usando algún material manipulativo como el geoplano, el tangram, espejos, doblez de papel etc.
   a) Nunca b) Habitualmente c) De manera ocasional

7) ¿Usas algún software de geometría dinámica para la enseñanza de las transformaciones geométricas?
   a) Nunca b) Habitualmente c) De manera ocasional

8) Dadas las siguientes figuras comenta:
a) ¿Qué tipo de transformación o movimiento sufrió cada una de ellas?
b) ¿Observas en las tres figuras características que no varían después de sufrir una transformación? ¿Cuáles?



FIGURA 1

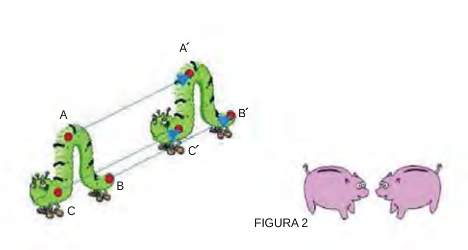


FIGURA 2

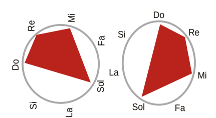
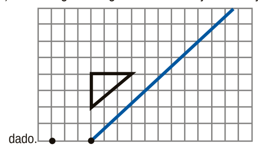


FIGURA 3

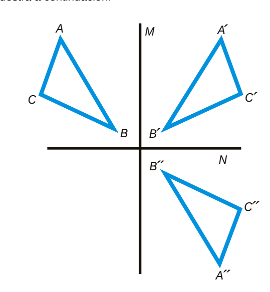
9) Dibuja una figura y una línea recta sonre una hoja de papel, obtén la imagen reflejada de dicha figura, como si la línea fuera el espejo. Has una descripción del procedimiento que realizaste.
   a. Haciendo uso de la figura anterior toma solo punto de la figura original y llámele p y al reflejo de ese punto llámele p'.
   b. Mediante un segmento de recta une los puntos p y p' . Mide la distancia del punto p al espejo y del espejo a p'. ¿cómo son esas distancias?
   c. ¿Cómo es ese segmento con respecto a la línea de su espejo?

10)Intenta dar una definición formal de la transformación geométrica que has experimentado en los incisos anteriores.

11)Dada la siguiente figura trata de dibujar su reflejo con respecto al eje dado.



12)El triángulo *A" B" C"* se obtuvo al hacer dos reflexiones del triángulo *ABC* respecto a las rectas perpendiculares M y N respectivamente, como se muestra a continuación.

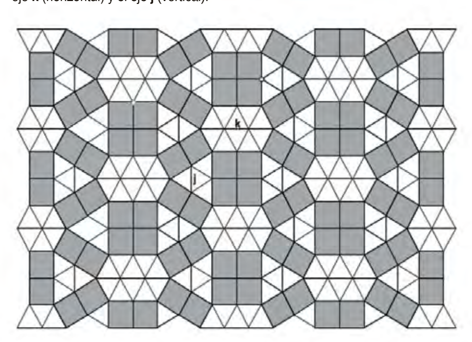


¿Qué transformación tuvo el triángulo ABC al hacer estas dos reflexiones?
a. Se obtuvo una traslación del triángulo
b. Se obtuvo una rotación de 180^0 del triángulo.
c. Se obtuvo un triángulo *A"B"C"* simétrico con respecto a la recta *M*.
d. Se obtuvo una rotación del triángulo menor de 180^0.

13)Dado el siguiente recubrimiento del espacio, ¿Qué transformación deja invariante este espacio bidimensional? Puedes experimentar con las transparencias que se te proporcionan.



14) Dado el siguiente espacio trata de experimentar haciendo una reflexión con el eje **k** (horizontal) y el eje **j** (vertical).



Anota tus observaciones, trata de hacer un resumen tomando en cuenta las siguientes preguntas. ¿La imagen de cualquier figura reflejada es siempre una simetría? Es decir, ¿Toda reflexión hace que el espacio permanezca invariante?

CREENCIAS Y DIFICULTADES DETECTADAS EN LOS PROFESORES DE LA MUESTRA

Ubicados los profesores en algún nivel de Razonamiento-Calidad se procedió al análisis descriptivo y resumimos:

- El 60.87% de la muestra confunde el concepto de reflexión con el de simetría.
- El 60.87% de los profesores no detectan las características que permanecen invariantes.
- No logra distinguir la importancia de la perpendicularidad como condición para que una figura sea reflejo de otra. (El 30.43% de la muestra).
- Sólo el 30.3% de los profesores logra una definición formal de reflexión.
- El 30.4% de los profesores se le dificulta trabajar con ejes oblicuos. Por la tendencia a trabajar sólo con ejes verticales y horizontales.
- El 43.48% no tiene claro el resultado de aplicarle una reflexión seguida de otra reflexión a una figura (composición de reflexiones).
- Dado que no se tiene claro el concepto de reflexión, al realizar la composición de reflexiones con ejes perpendiculares afirman que la transformación obtenida es una figura simétrica con la primera, con respecto al eje vertical, como sucedió con el 17.4% de la muestra.
- Un 21.73% de profesores en el reactivo 14, que contiene teselaciones, se limita a describir cómo está construida la teselación.

VARIABLES DEFINIDAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las variables representan características del profesor tanto de formación académica como de manejo de contenidos: Género, antigüedad, formación matemática (FM), número de respuestas correctas (RC), número de respuestas incorrectas (RI), respuestas parcialmente correctas (PC), nivel de razonamiento (NR), nombra de manera correcta a la "reflexión" (REF), identifica equidistancia (IE), identifica perpendicularidad (IP), logra definición formal de reflexión (LDR), trabaja con teselaciones (TT), identifica propiedades invariantes (PI), refleja con ejes oblicuos (REO), concluye que no siempre una reflexión es una simetría (CNRS).

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INDEPENDENCIA ENTRE LAS VARIABLES

Existen variables de gran importancia por lo que fue necesario evaluar la relación e independencia entre ellas. Se realizaron pruebas de Chi-cuadrado. Sólo mostramos el análisis completo de una prueba (Tablas 2 y 3).

En resumen, la muestra parece arrojar evidencia de que:

Las variables "nombrar de manera correcta la reflexión" (REF) y "lograr definición formal de reflexión" (LDR) no son independientes (Figura 1).

Tabla 2. Profesores que cumplen con REF y LDR.

Tabla de contingencia, Nombra de manera correcta la reflexión Logra definición formal de reflexión

		LOGRA DEFINICIÓN FORMAL DE REFLEXIÓN		Total
		NO	SI	
NOMBRA DE MANERA CORRECTA LA REFLEXIÓN	No	6	6	12
	SI	10	1	11
Total		16	7	23

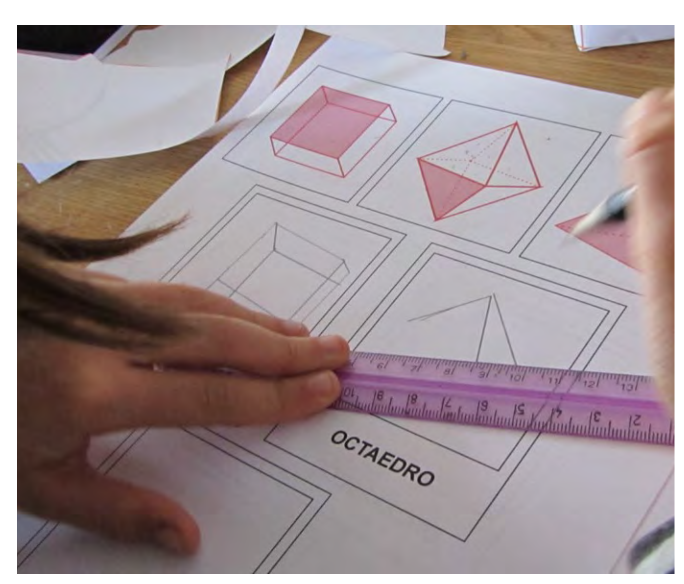
Tabla 3. Prueba de independencia entre REF y LDR.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)
chi-cuadrado de Pearson	4.537[a]	1	.033		
Corrección por continuidad[b]	2.810	1	.094		
Razón de verosimilitudes	4.930	1	.026		
Estadístico exacto de Fisher				.069	.045
Asociación lineal por lineal	4.339	1	.037		
N de casos válidos	23				

a. 2 casillas (50.0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 3.35
b. Calculado sólo para una tabla de 2x2

Ho: Las variables "nombrar de manera correcta la reflexión" (REF) y "logra definición formal de reflexión" (LDR) son independientes.



H1: Las variables "nombrar de manera correcta la reflexión" (REF) y "logra definición formal de reflexión" (LDR) no son independientes.

Observando en la tabla 3, el p-valor, el cual fue 0.033 se rechaza Ho si consideramos α=0.05, por lo que la muestra parece arrojar evidencia de que la variable REF y la variable LDR no son independientes.

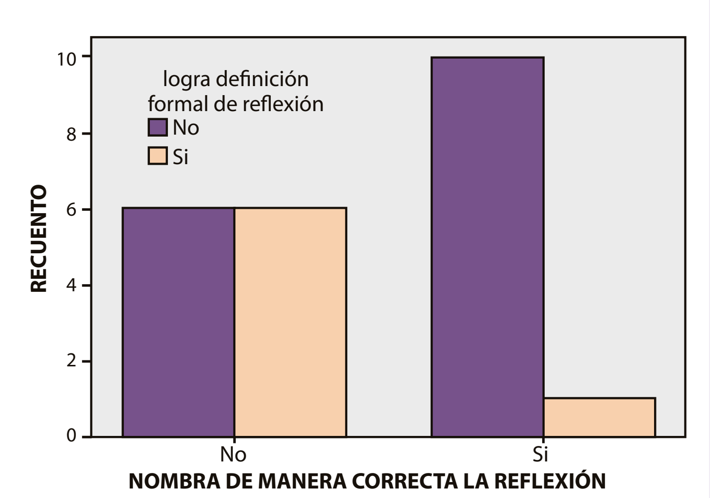


Figura 1. Profesores que nombran de manera correcta la reflexión y logran una definición formal de reflexión.

2) No hay evidencia como para negar la independencia entre las variables FM y LDR.
3) De la identificación de la equidistancia no se desprende que los profesores puedan identificar la reflexión. Un reducido número de profesores (2 de 23) no pudieron identificar la equidistancia y tampoco lograron identificar la reflexión, pero hay un caso curioso en el cual una persona nombra de manera correcta la reflexión y no identifica equidistancia.
4) Las variables "nombrar de manera correcta la reflexión" (REF) e "identificar equidistancia" (IE) son independientes.
5) Las variables "nombrar de manera correcta la reflexión" (REF) y la variable "identificar perpendicularidad" (IP) son independientes.
6) Si un profesor no logra identificar la equidistancia, entonces no es capaz de discriminar una reflexión de una simetría.
7) Las variables "el concluir que no siempre una reflexión es una simetría" (CNRS) y la variable "trabajar con teselaciones" (TT) no son independientes.

ANÁLISIS MULTIVARIANTE POR DISCRIMINANTE

Se realizó un análisis multivariado por discriminante utilizando el software SPSS [12]. La variable cualitativa que se utiliza para discriminar entre grupos es Nivel de Razonamiento (NR), cuyos valores se clasificaron en cuatro grupos (Figura 2).

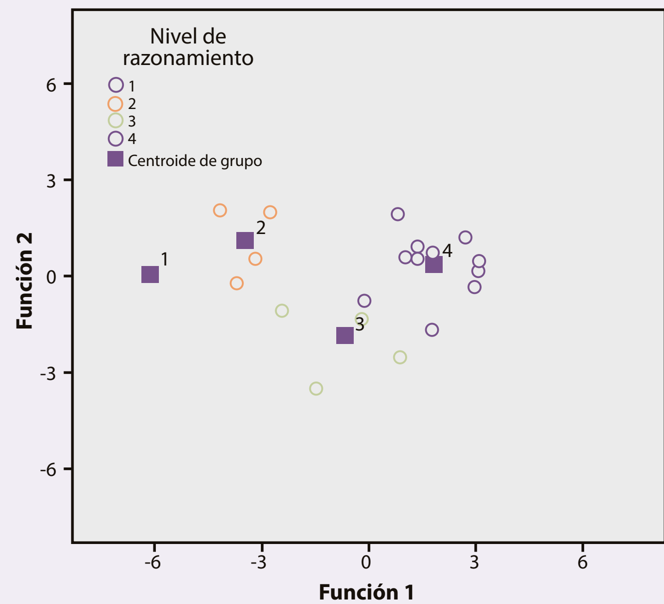


Figura 2. Presentación de los centroides. Los cuales representan cada nivel de razonamiento.

El análisis respondió algunos de nuestros cuestionamientos, como el hecho de que la variable "formación matemática" (FM) tiene mayor nivel de importancia, mientras que la variable "logra dar una definición de reflexión" (LDR) tiene menor peso. El hecho de que el profesor identifique las propiedades de reflexión (perpendicularidad o equidistancia) no necesariamente lo conduce a plasmar en su hoja de trabajo una definición formal, y la imposibilidad de plasmar una definición formal no es una limitante para que continúe trabajando correctamente en las siguientes actividades que lo llevan a un nivel superior de Razonamiento-Calidad.

La matriz de estructura mostrada en la tabla 4 identifica la carga o correlación entre cada variable independiente y cada función. En la matriz de estructura está señalada con asterisco la mejor contribución, de cada variable, a cada función discriminante.



Tabla 4. Correlación entre cada variable independiente y cada función.

Matriz de estructura

	Función		
	1	2	3
Refleja respecto a ejes oblicuos	.481*	-.412	-.274
Formación matemática	.150*	-.128	-.085
Nombra correctamente a la reflexión	.143*	.032	.022
Trabaja con teselaciones	.264	.712*	-.044
Indentifica perpendicularidad	.212	-.469*	.178
Indentifica propiedades invariantes	.139	-.291*	-.020
Indentifica equidistancia	.202	-.213	.713*
Concluye que no siempre una reflexión es una simetría	.202	.231	-.253*
Logra definición formal de reflexión	.036	-.095	.163*

Correlaciones intra-grupo combinadas entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas tipificadas.

Variables ordenadas por el tamaño de la correlación con la función.
* Mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante.

El análisis por discriminante evaluó la clasificación que se hizo anticipadamente. Como puede observarse en la tabla 5, solamente un caso estuvo mal asignado, es decir, el 95.7% de los casos se discriminaron correctamente. La función discriminante que se obtiene permite ubicar a un nuevo caso en algún Nivel de Razonamiento-Calidad.

Tabla 5. Evaluación de la clasificación realizada por el investigador.

Resultado de la clasificación

			Grupo de pertenencia pronosticado				
		Nivel de razonamiento	1	2	3	4	3
Original	Recuento	1	1	0	0	0	1
		2	0	4	0	0	4
		3	0	0	5	0	5
		4	0	0	1	12	13
	%	1	100.0	.0	.0	.0	100.0
		2	.0	100.0	.0	.0	100.0
		3	.0	.0	100.0	.0	100.0
		4	.0	.0	7.7	92.3	100.0

a. Clasificados correctamenteel 95.7% de los casos agrupados originales.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El modelo Niveles de Razonamiento-Calidad es un instrumento que permitió hacer una clasificación de las creencias y conocimientos de los profesores de acuerdo al razonamiento que muestran hacia algunos cuestionamientos y la calidad del mismo. En este proceso, se puede apreciar el uso de creencias y concepciones erróneas, lo que lleva a un profesor a identificar sólo casos particulares de un concepto matemático. Por ejemplo, el hecho de tener la misma concepción de reflexión que de simetría (confunde la simetría con un movimiento) le impide estar en posición de comprender a la simetría como un rasgo característico de formas geométricas, sistemas o ecuaciones, relacionado con su invariancia bajo ciertas transformaciones o movimientos. De acuerdo a los resultados: el profesor podría, mediante una secuencia didáctica, de manera general que el conocimiento de diferentes transformaciones geométricas es un modo de comprender diferentes geometrías, en el sentido del programa de Erlangen estudio de Felix Klein en 1872 ver [13]. Esta secuencia podría también reducir las dificultades provocadas por sus creencias, su diseño y puesta en escena forma parte de una siguiente fase de nuestra investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1) L. Contreras y J. Carrillo, Un modelo de categorías e indicadores para el análisis de las concepciones del profesor sobre la matemática y su enseñanza. Educación de Matemática. 7, 3, pp.26 – 37, 1995.
2) SEP, Subsecretaría de Educación Básica, 2011. http://dgdgie.basica.sep.gob.mx/consultemos.
3) M. Chacara, Las nociones de isometría y simetría en el plano, estudiadas a través del Modelo de Van Hiele, enriquecido con principios constructivistas. Tesis de Maestría, Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora. México. 2004.
4) J.R. Vargas, M.E. Parra, y J.L. Díaz. Errores conceptuales institucionalizados en Matemáticas. EPISTEMUS, vol.17, pp.56-62, 2014.
5) X. Thaqi, Aprender a enseñar transformaciones geométricas en Primaria desde una perspectiva cultural. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica de la Matemáticas. Universidad de Barcelona, España, 2009.
6) M. Serra. Discovering geometry - an inductive approach. California, USA: Key Curriculum Press, 2002.
7) D.C. Kay. College geometry: a discovery approach. Boston: Pearson Addison-Wesley, 2008
8) M.A. Armstrong, M. A. Groups and symmetry. New York, N.Y.; London: Springer, 2011.
9) A. Gutiérrez, A. Jaime & J. M. Fortuny, An Alternative Paradigm to Evaluate the Acquisition of the van Hiele Levels. Journal for Research in Mathematics Education, 22(3), pp. 237-251. 1991.
10) A. Gutiérrez, A., y A. Jaime, Traslaciones, giros y simetrías en el plano. Valencia: Escuela Universitaria del Profesorado de Educación General Básica, 1986.
11) P. Huerta. Los Niveles de Van Hiele y la Taxonomía SÓLO: Un análisis comparado, una integración necesaria. Enseñanza de las Ciencias, 17 (2). Departamento de Didáctica de la Matemática. Universidad de Valencia, pp. 291-309. 1999.
12) F. Brosius. SPSS 19. Heidelberg: Mitp, 2011.
13) H.W. Eves. Estudio de las geometrías: Tomo II. México: UTEHA, 1969.

MODELOS MATEMÁTICOS PARA PRUEBAS DE BOMBEO EN ACUÍFEROS. CASO DEL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA UNISON

PEDRO IGNACIO LOERA BURNES*, EVA LOURDES VEGA GRANILLO

RESUMEN

Entre los principales métodos de estudio en la hidráulica subterránea están las pruebas de bombeo y el análisis de las ecuaciones derivadas por condiciones particulares de frontera. De estas pruebas se obtienen parámetros hidrogeológicos, como la conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, que definen el comportamiento de un acuífero ante la acción de un pozo dentro del marco de una teoría determinada.

Esta investigación tiene como objetivo hacer una revisión de algunas de esas técnicas para construir modelos matemáticos que describan la hidrodinámica de un acuífero. Particularmente del parámetro transmisividad; así como su aplicación a un caso específico, el del Campo Experimental de la Unison (Universidad de Sonora) ubicado en la parte alta del acuífero de la Costa de Hermosillo.

Palabras-clave: Prueba de bombeo, modelos matemáticos, parámetros hidrogeológicos, Campo Experimental Unison, acuífero Costa de Hermosillo.

ABSTRACT

Among the main methods of study in hydrogeology are the pumping tests and analysis of the equations derived by individual boundary conditions. From these tests hydrogeological parameters are obtained, as hydraulic conductivity, transmissivity and storage coefficient, which define the behavior of an aquifer to the action of a well and within the framework of a given theory.

This research aims to make a review of some of these techniques to build mathematical models describing the hydrodynamics of an aquifer, particularly, the transmissivity parameter; and their application to a specific case of the Campo Experimental de la Unison (University of Sonora), located in the upper part of the Costa de Hermosillo aquifer.

Keywords: *Pumping test, mathematical models, hydrogeological parameters, Campo Experimental Unison, Costa de Hermosillo aquifer.*

M.C. PEDRO IGNACIO LOERA BURNES
Departamento de Matemáticas,
Universidad de Sonora
Correo: pilbour@mat.uson.mx
M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO
Departamento de Geología, Universidad de Sonora
Correo: eva.vega@ciencias.uson.mx

*Autor para correspondencia: M.C. Pedro Ignacio Loera Burnes
Correo electrónico: pilbour@mat.uson.mx
Recibido:27 de Marzo del 2015
Aceptado:18 de Mayo del 2015



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el objetivo de mostrar la fundamentación matemática de algunos de los modelos aplicados a la hidráulica de pozos para determinar los parámetros hidrogeológicos de un acuífero. Mediante pruebas de bombeo realizadas en los pozos de una zona, se estimula al acuífero para conocer su respuesta. Los valores obtenidos en campo a través de las pruebas de bombeo se introducen en modelos gráfico-numéricos para obtener las propiedades de transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento; de acuerdo a estas propiedades cada reservorio subterráneo responderá suministrando un cierto volumen de agua.

La metodología seguida en la investigación inicia mostrando las ecuaciones matemáticas con las cuales se obtienen los parámetros hidrogeológicos. Posteriormente describe los modelos matemáticos enfocados al flujo transitorio a pozos en acuíferos confinados. Desglosa matemáticamente los modelos de Thiem, Theis y Jacob. Finalmente en el estudio de caso, se aplica el modelo de Theis a un pozo del Campo Experimental de la Unison, ubicado en la parte alta del acuífero de la Costa de Hermosillo.

La importancia del estudio actual, que sirvió para obtener el título de licenciatura de uno de los autores, estriba en mostrar el desarrollo matemático de los modelos, su aplicación en un área tan relevante como lo es la hidrogeología. Así como estudiar el caso de un pozo en la parte alta de la Costa de Hermosillo para obtener los valores de los parámetros hidrogeológicos mencionados, que permitirán predecir en el futuro, el caudal de agua que se puede extraer del acuífero para los diversos usos previstos.

Se muestran las fuentes originales que los autores de los modelos publicaron, las cuales aunque son antiguas, se siguen usando por hidrogeólogos actuales. Asimismo, se comparan los valores aquí obtenidos con otros estudios del mismo tipo realizados recientemente en el acuífero de la Costa de Hermosillo, en cuya parte alta se encuentra el Campo Experimental de la Unison.

Estudios previos

En su tesis profesional Larios [1] cita que de acuerdo a la bibliografía, el coeficiente de almacenamiento en acuíferos libres varía de 0.01 a 0.35, y que la transmisividad va de 0.0001 a 0.2 m^2/s. Cuando ésta es menor que el primer valor sólo surtirá agua suficiente para usos domésticos, si es mayor que el segundo valor, la producción del pozo será adecuada para usos industriales, municipales o agrícolas. En su trabajo desarrolla los modelos de Theis y Jacob en dos pozos de bombeo y dos de observación de la Costa de Hermosillo. Obtuvo valores de transmisividad de 0.0024 a 0.0047 m^2/s, y de coeficiente de almacenamiento de 2.25 X 10^{-5}.

En el estudio realizado por la UNISON [2] se calculó la conductividad hidráulica del sistema mediante pruebas



de bombeo y geofísica. Se obtuvieron transmisividades variables de muy altas de 10^{-1} m^2/s en el paleocauce del Río Sonora, a bajas en sus zonas adyacentes y hacia las fronteras con valores de 10^{-4} m^2/s. Dichos autores citan una transmisividad media en el acuífero de 4.5 X 10^{-2} m^2/s tomada de otros estudios; considerando un espesor medio de 200 m obtuvieron una conductividad hidráulica media de 2.25 X 10^{-4} m/s, que multiplicada por el gradiente medio del orden de 0.0025 les da una velocidad de Darcy de 5.625 X 10^{-7} m/s.

El INEGI [3] reporta dos acuíferos interconectados entre sí en la Costa de Hermosillo. El superior con transmisividad de 5 X 10^{-3} a 4.2 X 10^{-1} m^2/s con espesor medio de 200 m y el segundo sin valores de parámetros, tiene espesores variables hasta de 700 m de profundidad. No cita la fuente de sus datos.

CONAGUA [4] cita que en un estudio geohidrológico, realizado en 1968 por Ariel Construcciones, se llevaron a cabo algunas pruebas de bombeo en pozos del acuífero de la Costa de Hermosillo, cuyos datos se introdujeron en el Modelo de Theis, obteniendo una transmisividad media de 4.5 X 10^{-2} m/s y un coeficiente de almacenamiento de 1.1 x 10^{-3}.

HIDRÁULICA DE POZOS

Un acuífero es una formación o grupo de formaciones geológicas que contiene una cantidad significativa de agua y permite su transporte bajo condiciones de campo ordinarios. Los acuíferos pueden ser confinados y no confinados. Los primeros están acotados por formaciones impermeables; los segundos, también llamados acuíferos libres, tienen como frontera superior el nivel de agua o nivel freático, que es la superficie sobre la cual la presión del

fluido en el medio poroso es igual a la presión atmosférica.

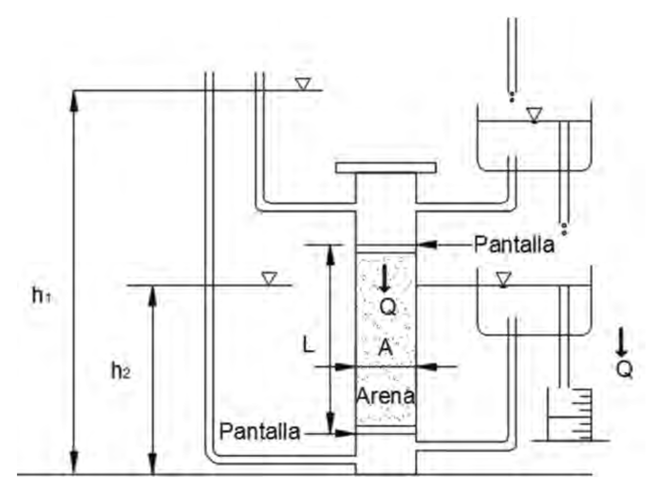
La Hidráulica de pozos es una herramienta que permite determinar los parámetros hidrogeológicos de un acuífero (transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento) para poder determinar la producción que puede obtenerse de un pozo. Existen diversos métodos de análisis de pozos en los diferentes tipos de acuíferos existentes, así como varias ecuaciones que gobiernan el flujo de agua hacia un pozo. A continuación se describen algunas de ellas.

Ley de Darcy

En 1856, Henry Darcy investigó el flujo de agua en filtros verticales homogéneos de arena conectados con las fuentes de la ciudad de Dijon (Francia). De su experimento (Figura 1), Darcy concluyó que la tasa de flujo o volumen de agua por unidad de tiempo *Q*, es:

a) Proporcional a un área de sección transversal *A*,
b) Proporcional a $(h_1 - h_2)$ e,
c) Inversamente proporcional a la longitud *L*, o sea la separación entre los filtros.

Figura 1. Experimento de Darcy.



Fuente: Bear [5] Mod.

Cuando se combinan estas conclusiones obtenemos la Ley de Darcy:

$$Q = \frac{KA(h_1 - h_2)}{L} \quad (1)$$

Donde es la carga piezométrica y $(h_1 - h_2)$ es la diferencia entre las cargas piezométricas a través del filtro de longitud . El coeficiente de proporcionalidad , denota la conductividad hidráulica del medio poroso o coeficiente de permeabilidad [5]. La permeabilidad de una roca o suelo es una medida de su habilidad para transmitir fluido, tales como agua, bajo un gradiente hidráulico. La permeabilidad es aproximadamente proporcional al cuadrado del diámetro medio de los granos del medio poroso.

Debido a que la carga piezométrica describe (en términos de carga de agua) la suma de la presión y energía de potencial del fluido por unidad de peso, el término $\frac{(h_1 - h_2)}{L}$ se interpreta como el gradiente hidráulico. Denotando este gradiente por $J = \left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)$ y definiendo la descarga específica q como el volumen de agua que fluye por unidad de tiempo a través de un área transversal unitaria normal a la dirección de flujo, obtenemos:

$$\mathrm{q} = K\mathrm{J} \quad (2)$$

Donde $q = Q/A$ y $J = \left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)$. Esta expresión es otra forma de la Ley de Darcy [5].

Cuando el flujo es tridimensional, la Ley de Darcy se generaliza quedando:

$$\mathbf{q} = K\mathbf{J} = -\mathrm{K}\,\mathrm{grad}\phi;\ \mathbf{V} = \mathbf{q}/\eta \quad (3)$$

Donde $\mathbf{V}$ es el vector velocidad con componentes $\langle V_x, V_y, V_z \rangle$; η es la porosidad volumétrica (razón entre espacios vacíos sobre espacio sólido) y la porción del área A disponible para el flujo es ηA . De acuerdo a esto la velocidad promedio V de flujo a través de la columna es [5]:

$$V = Q/\eta A = q/\eta$$

Además la suma de la carga de presión y la carga de elevación es la carga piezométrica ϕ y q es el vector de descarga específica cuyas componentes son $\langle q_x, q_y, q_z \rangle$ en las direcciones del plano cartesiano xyz, respectivamente y $\mathbf{J} = -\mathrm{grad}\phi \equiv -\nabla\phi$ es el gradiente hidráulico con componentes $J_x = -\partial\phi/\partial x$, $J_y = -\partial\phi/\partial y$ y $J_z = -\partial\phi/\partial z$ (3) en las direcciones de los ejes xyz [5], [6].

Cuando el flujo toma lugar en un medio homogéneo isotrópico, la conductividad hidráulica K es un escalar y la ecuación (3) se puede escribir como [5]:

$$\left.\begin{aligned} q_x &= K\mathrm{J}_x = -K\,\partial\phi/\partial x = \eta V_x \\ q_y &= K\mathrm{J}_y = -K\,\partial\phi/\partial y = \eta V_y \\ q_z &= K\mathrm{J}_z = -K\,\partial\phi/\partial z = \eta V_z \end{aligned}\right\} \quad (4)$$



Para el flujo en la dirección que indique el vector unitario 1*s*:

$$q_s = q \cdot 1s = -K\, \partial\phi/\partial s = \eta\, V_s \tag{5}$$

Parámetro Transmisividad

Un medio poroso es homogéneo si su permeabilidad es la misma en todos sus puntos, de otra manera, el medio es heterogéneo o no homogéneo. Además, si la permeabilidad en un punto del medio poroso es independiente de la dirección el medio es isotrópico, si ésta varía de una dirección a otra el medio es anisotrópico. Consideremos un flujo a través de un acuífero confinado de espesor B como el mostrado en la figura 2. Si el acuífero es homogéneo e isotrópico con conductividad hidráulica K, entonces la descarga total en la dirección $+x$, Q_x, a través del área WB normal al flujo está dada por la Ley de Darcy [5]:

$$Q_x = -KBW\, \partial\phi/\partial x \equiv KBW J_x;\ \mathbf{J}' \equiv -\mathrm{grad}'\phi;\ J_x = -\,\partial\phi/\partial x \tag{6}$$

La descarga por unidad de ancho del acuífero Q_x', normal a la dirección de flujo es:

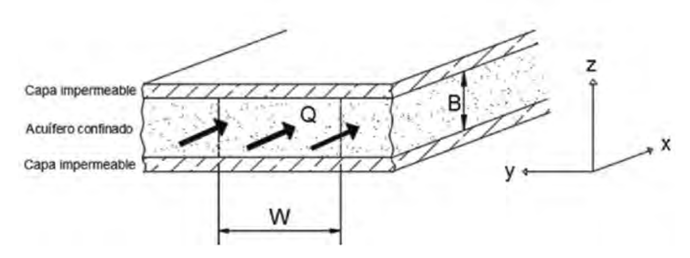
$$Q_x' \equiv Q_x/W = KBJ_x \equiv T\, J_x;\ \ T = Q_x'/J_x \tag{7}$$

En forma vectorial podemos escribir:

$$\mathbf{Q}' = -T\nabla'\phi;\ \ \nabla'(\ \ ) = \frac{\partial(\,)}{\partial x}\mathbf{1x} + \frac{\partial(\,)}{\partial y}\mathbf{1y} \equiv \mathrm{grad}'\phi \tag{8}$$

El producto KB denotado por T, es la transmisividad la cual se define como la tasa de flujo por unidad de ancho que cruza el espesor de un acuífero por unidad de gradiente hidráulico [5], [6].

Figura 2. Flujo a través de un acuífero confinado.

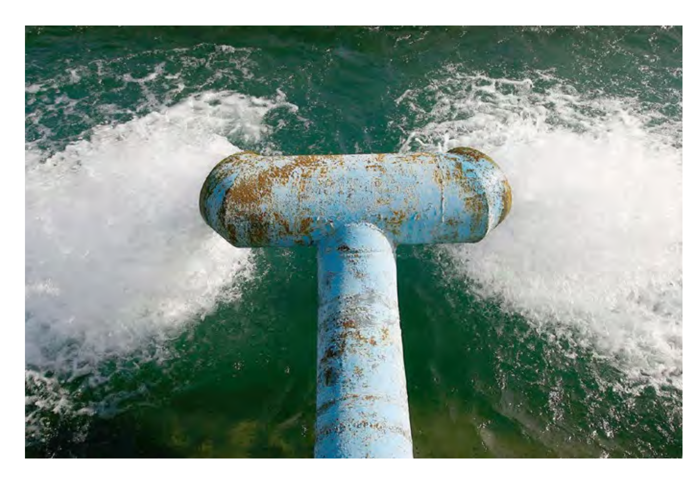


Fuente: Bear [6] Mod.

Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento S, de un acuífero se define como el volumen de agua extraída (o recargada) en una unidad de volumen de acuífero por unidad de disminución (o aumento) en la presión o por unidad de cambio en la carga piezométrica ϕ^* y se expresa mediante [5]:

$$S = \frac{\Delta U_w}{U_b \Delta p} = \frac{\Delta U_w}{U_b \Delta\phi^*} \tag{10}$$



Donde U_w es el volumen de una unidad de masa de agua, U_b es el volumen de una unidad de medio poroso, Δp es el cambio de una unidad de carga o $\Delta\phi^*$ cambio en una unidad de carga piezométrica.

MODELO MATEMÁTICO

Para empezar a estudiar los modelos matemáticos aplicados a acuíferos mencionaremos las suposiciones en las que están basados estos modelos [5], [6]:

- El flujo de agua en el acuífero obedece a la Ley de Darcy (Ecuación 1).
- El agua sale inmediatamente del acuífero y hay una disminución de la presión.
- El acuífero es homogéneo, isotrópico y con un área infinita.
- La base del acuífero es horizontal y en un acuífero confinado el espesor es constante.
- El nivel del agua o superficie piezométrica antes de iniciarse el bombeo es horizontal.

En la práctica antes de aplicar los resultados que se derivarán de esta sección se deben tomar en cuenta las condiciones de campo; pues algunas de ellas no se satisfarán y habrá que introducir otras.

Partiremos de la ecuación general de flujo para aguas subterráneas [7]:

$$\nabla \cdot (K\, \nabla\phi) = S\, \frac{\partial\phi}{\partial t}$$

En [5] se presenta un análisis detallado de esta ecuación.

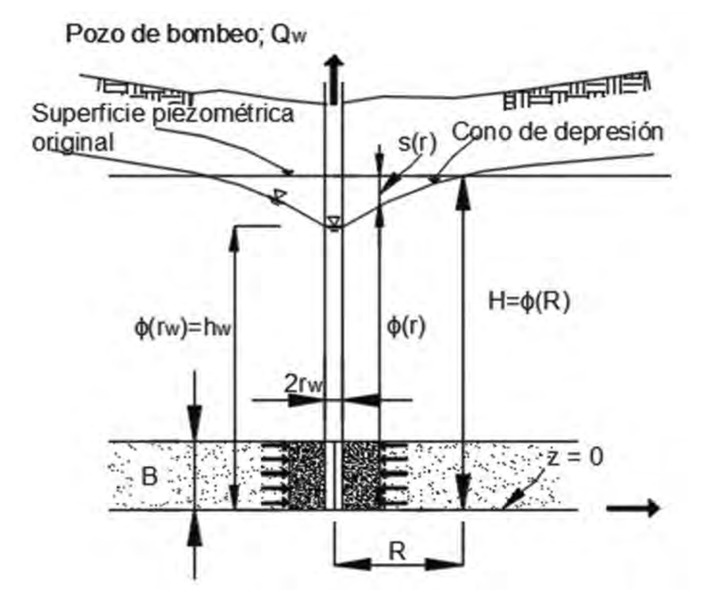
Flujo transitorio a un pozo en un acuífero confinado

Existen varios modelos matemáticos para describir el flujo de agua hacia un pozo, pero debido a la limitante de espacio en el presente texto se explican sólo tres modelos: Thiem, Theis y Jacob, así como un caso de aplicación [8], [9], [10].

La figura 3 muestra un pozo completamente penetrante que bombea a una razón de flujo constante Q_w en un acuífero confinado. El acuífero es homogéneo, isotrópico, y con un espesor constante B. Asumimos que la capacidad de almacenamiento S del acuífero, resultante de

las propiedades del agua y la geología del manto acuífero, es constante (en espacio y tiempo) y que el agua se bombea instantáneamente del manto con una disminución de presión [5].

Figura 3. Pozo completamente penetrante en acuífero confinado.



Fuente: Bear [5] Mod.

Consideremos un dominio del acuífero entre dos cilindros concéntricos al pozo de radios *r* y *r+Δr.* El exceso de volumen de agua que sale de este dominio sobre el volumen que le entra, en un intervalo de tiempo Δt es tomado desde el manto al dominio, causando una disminución en la presión $\Delta\phi = \phi(t) - \phi(t+\Delta t)$ (Figura 4). Expresando esto matemáticamente tenemos:

$$\Delta t[Q_w(r) - Q_w(r+\Delta r)] = S \times 2\pi r\,\Delta r[\phi(t) - \phi(t+\Delta t)]$$

$$Q_w(r) = 2\pi r T\,\partial\phi/\partial r \qquad (11)$$

$$\frac{[Q_w(r) - Q_w(r+\Delta r)]}{\Delta r} = 2S\pi r\left[\frac{\phi(t) - \phi(t+\Delta t)}{\Delta t}\right]$$

$$Q'_w(r) = 2S\pi r\phi'(t) \qquad (12)$$

De la ecuación (11) derivando:

$$Q'_w(r) = 2\pi r T\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + 2\pi T\frac{\partial\phi}{\partial r} \qquad (13)$$

Sustituyendo en la ecuación (12):

$$2\pi r T\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + 2\pi T\frac{\partial\phi}{\partial r} = 2S\pi r\phi'(t)$$

Dividiendo por obtenemos:

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r} = \frac{S}{T}\frac{\partial\phi}{\partial t} \qquad (14)$$



Esta ecuación describe el flujo transitorio (convergente o no convergente) en un acuífero confinado [5]. Si el flujo se considera en estado estacionario la ecuación (14) queda:

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r} = 0 \qquad (15)$$

Y aplicando las condiciones de frontera en el pozo $r = r_w$ y $\phi = h_w$; obtenemos su solución [5]:

$$\phi(r_2) - \phi(r_1) = \frac{Q_w}{2\pi T}\,ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \qquad (16)$$

La ecuación (16) se denomina Modelo de Thiem, desarrollado en 1906 [8].

Sustituyendo dos distancias r y R, en la ecuación (16) obtenemos:

$$s(r) = \phi(R) - \phi(r) = \frac{Q_w}{2\pi T}\,ln\left(\frac{R}{r}\right) \qquad (17)$$

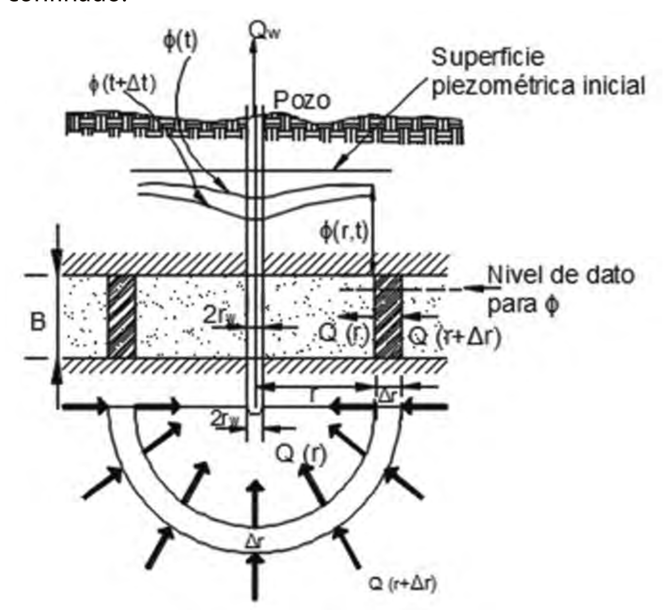
Esta ecuación nos define el abatimiento s a cualquier distancia r del pozo de bombeo en términos del radio de influencia del acuífero [5], [6].

La distancia R en la ecuación (17), cuando del abatimiento es cero, se llama radio de influencia del pozo. Como hemos establecido anteriormente, el flujo estable no puede prevalecer en un acuífero infinito. Así que la distancia R se puede interpretar como un parámetro que indica la distancia más allá de la cual el abatimiento es despreciable o no observable [5].

Para obtener la solución de la ecuación (14) para un acuífero con flujo transitorio y confinado consideraremos que el pozo (Figura 4) es infinitesimalmente angosto y las condiciones de frontera e iniciales son [5]:

$$\left.\begin{array}{c} \phi(r,0) = \phi_0,\ \ r_w \le r \le \infty \\ \phi(\infty,t) = \phi_0,\ \ t \ge 0 \\ \lim\limits_{r=r_w\to 0} 2\pi r T\ \partial\phi/\partial r = Q_w = \text{constante};\ \ \ t > 0 \end{array}\right\} \qquad (18)$$

Figura 4. Flujo transitorio en un pozo en un acuífero confinado.



Fuente: Bear [5] Mod.

Escribiendo la ecuación (14) en términos del abatimiento $s(r,t) = \phi_0 - \phi(r,t)$ nos queda:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T}\frac{\partial s}{\partial t} \qquad (19)$$

Y las condiciones de frontera para esta ecuación son: $s(r,0) = 0$, $s(\infty,t) = 0$ y $\lim_{r=r_w\to 0} 2\pi rT\ \partial s/\partial r = -Q_w$ [5]. La solución de la ecuación (19) se obtiene haciendo el cambio de variable $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ y la transformación de Boltzman $s\big(u,(r,t)\big)$; ver detalles en [11]:

$$s = \frac{Q_w}{4\pi T}\int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x}\, dx \qquad (20)$$

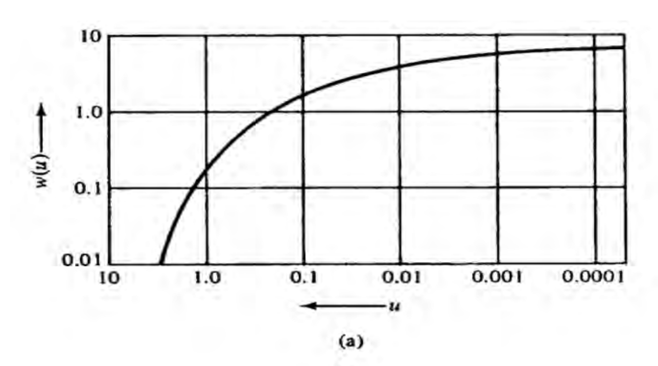


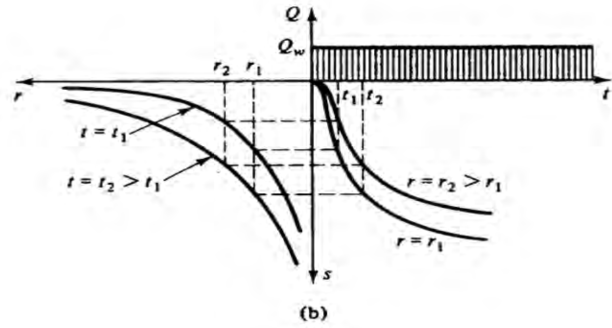
La solución para la ecuación (19) dada por Theis [9] tiene la forma:

$$\left.\begin{aligned} s(r,t) = \phi_0 - \phi(r,t) = \frac{Q_w}{4\pi T}W(u) \\ W(u) = \int_{x=u}^\infty \frac{e^{-x}}{x}\, dx \end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

Donde *W(u)* es la función de pozo de $u = S\,r^2/4tT$ para un acuífero confinado [5], [9], [11]. La figura 5 muestra la curva de abatimiento $s(r,t)$. A la ecuación (21) se le llama Modelo de Theis.

Figura 5. (a) Abatimiento s(r, t) en un acuífero confinado infinito. (b) Curva tipo para un acuífero confinado.





Fuente: Bear [5].

Existe un punto de inflexión cuando u=1 (esto es $t = S^2/4T$). De allí en adelante la razón del abatimiento $\partial s/\partial t\,(= -\partial\phi/\partial t)$ decrece, pero teóricamente nunca desaparece [5], [12], [13].

La función de pozo o integral exponencial se obtiene de la serie:

$$W(u) = -0.5572 - \ln u + u - \frac{u^2}{2\times 2!} + \frac{u^3}{3\times 3!} - \frac{u^4}{4\times 4!}\cdots$$

Para valores pequeños de u, por decir $u < 0.01$, la serie puede aproximarse con los primeros dos términos [12], [13] obteniendo:

$$s(r,t) \cong \frac{Q_w}{4\pi T}\left(-0.5772 - \ln\frac{r^2 S}{4Tt}\right) = \frac{Q_w}{4\pi T}\ln\frac{2.25\,Tt}{r^2 S} \qquad (22)$$

A esta ecuación se le llama Modelo de Jacob [5], [6].

CASO DE ESTUDIO: EL ACUÍFERO DEL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA UNISON

Con la metodología previamente citada, se realizó una prueba de bombeo en el Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora [11], ubicado en la parte alta del acuífero de la Costa de Hermosillo; los datos de campo: abatimiento (m) contra tiempo (min) se introdujeron en las ecuaciones de los modelos de Theis y de Jacob para acuíferos confinados.

Finalmente se compararon los valores obtenidos en esta investigación con otros publicados por diversos autores en fechas más recientes, y se elaboraron las conclusiones.

Localización del sitio en estudio

Las coordenadas geográficas del pozo donde se realizó la prueba son 29°00'50" Latitud Norte y 111°07'55" Longitud Oeste y tiene una altitud de 149 msnm. Debido a que se tienen siembras experimentales en el sitio, se cuenta con 3 pozos. Uno se utilizó como el pozo de bombeo y los otros dos, como pozos de observación.

El llamado en este trabajo Pozo de Observación 1 se construyó en Agosto de 1980 y tiene una profundidad de 251.0 m, se ubica a 33.6 m del pozo de bombeo. El Pozo de Observación 2 se perforó en Abril de 1955, cuenta con una profundidad de 213.4 m, y está a una distancia de 159.6 m del pozo de bombeo. El nombrado aquí como Pozo de Bombeo se perforó en 1985 y en él se realizó la presente prueba.

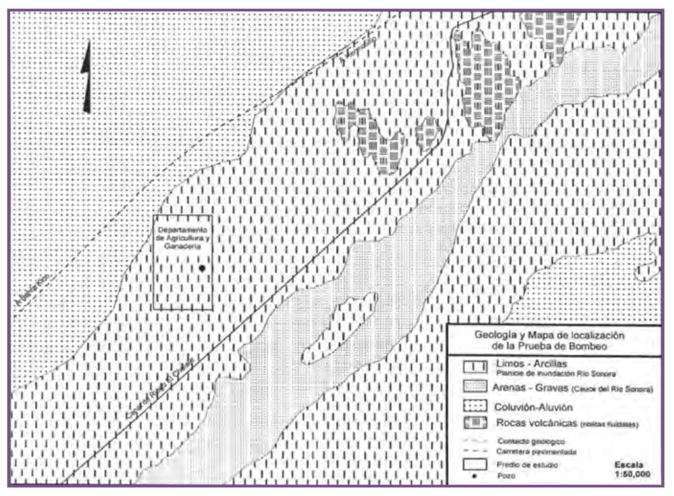
El equipo de bombeo tiene una potencia de 250 HP; cuenta con una columna de 8" de diámetro, con tazones de 12" de diámetro y longitud de 140 m. La zona de estudio se localiza en el antiguo lecho del Río Sonora y constituye la parte alta del acuífero de la Costa de Hermosillo, cuya cuenca pertenece a la Región Hidrológica No. 9, Sonora Sur [11].

El balance hídrico subterráneo del acuífero de la Costa de Hermosillo resulta negativo, debido a que se cuenta con 498 pozos profundos que extraen 566 millones de m³ de agua por año, habiéndose estimado la recarga en un rango de 250 a 350 millones de m³ por año [14]. Como el bombeo excede a la recarga natural, el nivel freático ha descendido más de 40 m en las últimas cuatro décadas.



En lo que respecta a la geología alrededor del Campo Experimental de la Unison, se localizan afloramientos terciarios de rocas volcánicas, específicamente riolitas fluidales. Sobre éstos se observan sedimentos cuaternarios aluviales, constituidos de arenas y gravas predominantemente en el cauce del Río Sonora, intercalados con limos y arcillas de la antigua planicie de inundación [15]. Es precisamente en esta planicie de inundación donde se encuentra localizado el pozo de bombeo en estudio (Figura 6).

Figura 6. Localización y geología del Campo Experimental de la Unison.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos de tiempo contra abatimiento obtenidos en el ensayo por bombeo y su análisis se muestran más adelante. Los datos de campo se introdujeron en el programa Excel. Se elaboraron las gráficas correspondientes y se obtuvieron los valores de los parámetros hidrogeológicos. Se bombeó a una razón de descarga de 75 L/s. El nivel estático inicial fue de 107 m en el Pozo de Observación 1 y de 105 m en el Pozo de Observación 2. Se calculó la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S) del acuífero aplicando los modelos de Theis y Jacob (Ecuaciones 21 y 22).

Modelo de Theis

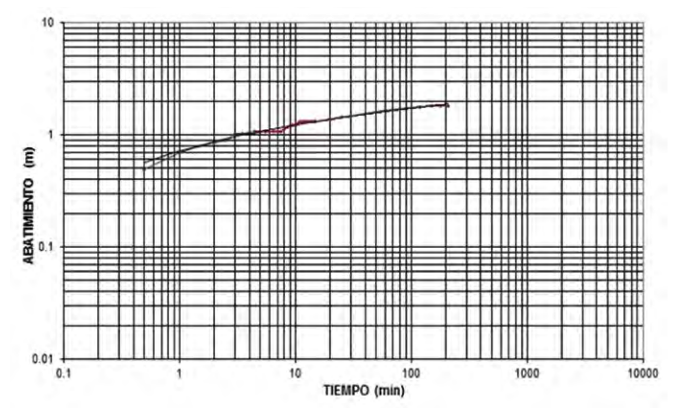
Para el Pozo de Observación 1 la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se calcularon de la siguiente manera (Ecuaciones 17 y 21):

$$T = \frac{Q_w}{4\pi s} W(u) = \frac{4.5\, m^3/min}{4\pi(0.24\, m)} \approx 1.5\, m^2/min = 0.025\ m^2/s$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2}\, u = \frac{4(1.5\, m^2/\text{min}\,)(0.33\ \text{min}\,)}{(33.6\, m)^2} \approx 1.75 \times 10^{-3}$$

La figura 7 muestra la curva de campo del Pozo de Observación 1. La gráfica muestra el comportamiento de la curva de abatimiento contra el tiempo en una hoja doble logarítmica.

Figura 7. Curva de campo del Pozo de Observación 1.



Fuente: Elaboración propia.

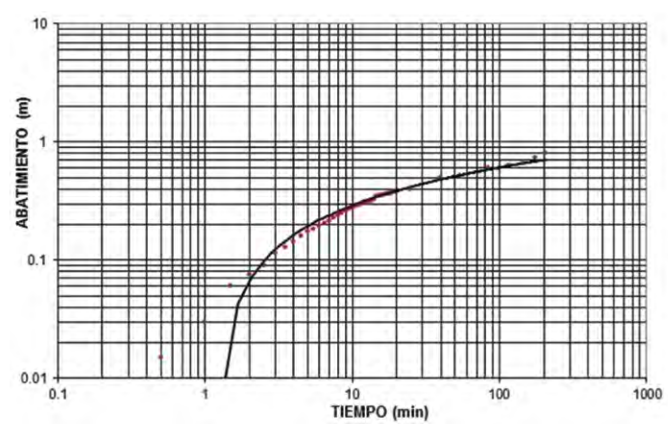
Para el Pozo de Observación 2, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento fueron:

$$T = \frac{Q_w}{4\pi s}\, W(u) = \frac{4.5\, m^3/min}{4\pi(0.18\, m)} \approx 2.0\, m^2/min = 0.033\ m^2/s$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2}\, u = \frac{4(2.0\, m^2/\text{min})(1.0\ \text{min})}{(159.6\, m)^2} \approx 3.14 \times 10^{-3}$$

La figura 8 muestra la curva de campo del Pozo de Observación 2. La gráfica muestra el comportamiento de la curva de abatimiento contra el tiempo.

Figura 8. Curva de campo del Pozo de Observación 2.



Fuente: Elaboración propia.

Modelo de Jacob

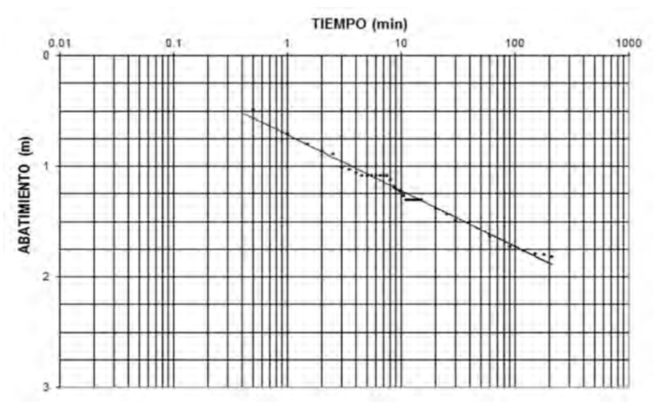
Los mismos datos de campo obtenidos en la prueba de bombeo en el Campo Experimental de la Unison, se introdujeron en el programa Excel para obtener los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento por el Modelo de Jacob. Estos valores fueron para el Pozo de Observación 1 (aplicando la ecuación 22, y el valor aproximado de p de la curva de campo en la figura 9):

$$T = \frac{0.183\, Q_w}{p} = \frac{(0.183)(4.5\ m^3/min)}{0.51\, m} = 1.614 \frac{m^2}{min} \approx 0.027\ \frac{m^2}{s}$$

$$S = \frac{2.25Tt}{r^2} = \frac{2.25\,(1.614\ m^2/min)(0.038\, min)}{(33.6\, m)^2} = 1.222 \times 10^{-4}$$

La figura 9 muestra la curva de campo del Pozo de Observación 1. Se puede observar que este modelo utiliza hojas semi-logarítmicas. De esta curva determinamos el valor de la pendiente p.

Figura 9. Curva de campo del Pozo de Observación 1.



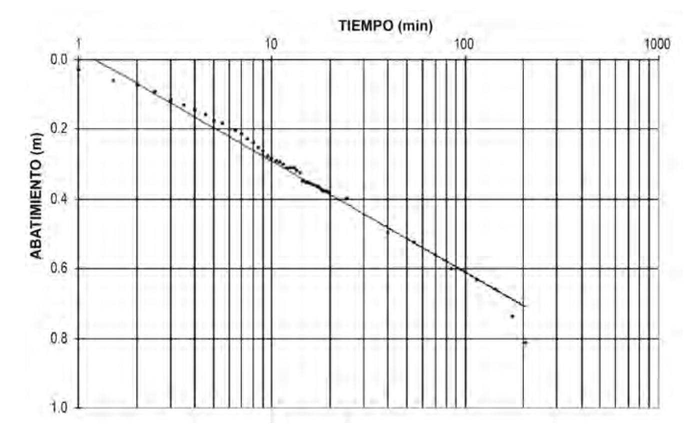
Fuente: Elaboración propia.

Para el Pozo de Observación 2, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento de acuerdo al Modelo de Jacob fueron:

$$T = \frac{0.183\, Q_w}{p} = \frac{(0.183)(4.5\ m^3/min)}{0.3\, m} = 2.745 \frac{m^2}{min} \approx 0.045\ \frac{m^2}{s}$$

$$S = \frac{2.25Tt}{r^2} = \frac{2.25\,(2.745\ m^2/min)(1.4\, min)}{(159.6m)^2} = 3.394 \times 10^{-4}$$

La figura 10 muestra la curva de campo del Pozo de Observación 2. En esta figura se puede notar que conforme el tiempo va pasando, el abatimiento va decayendo.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Las pruebas de bombeo son una herramienta de campo mediante las cuales se estimula al acuífero a través del bombeo de pozos, para conocer su respuesta (descenso del nivel del agua), registrándose el abatimiento (m) contra el tiempo (min).

En el presente trabajo se analizaron datos obtenidos en el Campo Experimental de la Unison, ubicado en la parte alta del acuífero de la Costa de Hermosillo, usando los modelos de Theis y de Jacob.

Asimismo se consultaron otros estudios donde se aplicaron los mismos modelos matemáticos en la misma zona acuífera. Los resultados obtenidos con el Modelo de Theis, que es el más comúnmente usado, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de transmisividad obtenidos con el Modelo de Theis.

Autor	Transmisividad (m^2/s)	Coeficiente de almacenamiento (adimensional)	Conductividad hidráulica (m/s)
Larios (1968)	2.4×10^{-3} a 4.7×10^{-3}	2.25×10^{-5}	
UNISON (2001)	4.5×10^{-2}		2.25×10^{-4}
INEGI (2007)	5×10^{-3} a 4.2×10^{-1}		
CONAGUA (2009)	4.5×10^{-2}	1.1×10^{-3}	
Loera y Vega (2015); presente trabajo	2.5×10^{-2} a 3.3×10^{-2}	1.75×10^{-3} a 3.14×10^{-3}	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 1 se puede concluir que los valores de transmisividad están en el rango de 10^{-1} a 10^{-3}, y los de coeficiente de almacenamiento varían de 10^{-3} a 10^{-5}. Valores típicos para este tipo de acuíferos, como lo menciona Larios [1].

En la misma tabla 1 se puede ver que en esta investigación, se obtuvo con el Modelo de Theis, una transmisividad de 0.025 y 0.033 m^2/s en los pozos de observación 1 y 2 respectivamente; con el modelo de Jacob los valores fueron de 0.027 y 0.045 m^2/s respectivamente.

El coeficiente de almacenamiento calculado con el Modelo de Theis fue de 1.75 X 10^{-3} y 3.14 X 10^{-3} para los pozos 1 y 2 respectivamente. Con el Modelo de Jacob se obtuvo 1.22 X 10^{-4} y 3.39 X 10^{-4}.

Analizando lo anterior se puede concluir que en las pruebas de bombeo los resultados más confiables son los obtenidos por el Modelo de Theis, ya que en la interpretación de estas pruebas se aplica la "función de pozo" como modelo matemático para representar el comportamiento del flujo del agua subterránea, el cual sugiere que es lo más parecido a lo que en realidad ocurre.

Otro factor que interviene en el cálculo de estos parámetros es la distancia a la que están los pozos de observación respecto al de bombeo, porque el abatimiento en los pozos más cercanos será mayor que en los más alejados, como se puede apreciar en las figuras que se presentan.

Asimismo se concluye que las pruebas de bombeo determinan los parámetros hidrogeológicos de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica de un acuífero, los cuales al introducirse en un modelo matemático de flujo, muestran el comportamiento del reservorio a futuro o en otras palabras, se puede predecir con cuánta agua se podrá contar en el acuífero.

BIBLIOGRAFÍA

1) J.A. Larios Gaxiola. Estudios hidrogeológicos en la Costa de Hermosillo. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería. Universidad de Sonora. 108 p. 1968.
2) Universidad de Sonora (UNISON). Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero "Costa de Hermosillo", Municipio de Hermosillo, Sonora. Contrato sgt-grno-son-01-026-ce-13. Tomos I y II. 12 capítulos. 2001.
3) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Estudio hidrológico del Estado de Sonora. 183 p. 2007.
4) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea Acuífero (2619) Costa de Hermosillo Estado de Sonora. 2009. Recuperado el 01 de mayo de 2015 de: http://www.conagua.gob.mx/OCNO07/Noticias/2619%20Costa%20de%20Hermosillo.pdf, 22 p.
5) J. Bear, Hydraulics of groundwater. U.S.A.: Mc Graw-Hill, 1979.
6) J. Bear, A. Verruijt, Modeling Groundwater Flow and Polution. U.S.A.: Springer Science and Business Media, 1987.
7) B. E. Flores Soto, Discretización en Diferencias Finitas de Modelos de Acuíferos. Tesis profesional. Depto. de Matemáticas Universidad de Sonora. México, 1990.
8) G. Thiem, Hidrologishe methoden. Germany, Leipzig: J.M. Gebhardt, p. 56, 1906.
9) C.V. Theis, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans Amer. Geophys. Union. 2:519-524, 1935.
10) C.E. Jacob, On the flow of water in an elastic artesian aquifer. Trans Amer. Geophys. Union, 2:574-586, 1940.
11) P.I. Loera Burnes, Modelos matemáticos para pruebas de bombeo con aplicación al cálculo de transmisividad de acuíferos. Tesis profesional. Depto. de Matemáticas Universidad de Sonora. México, 1999.
12) H.H. Cooper Jr. y C.E. Jacob, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Trans Amer. Geophys. Union. 27:526-534, 1946.
13) C.E. Jacob, Flow of groundwater. Engineering Hydraulics, New York, U.S.A.: H. Rouse. John Wiley & Sons, 1950.
14) W. G. Matlock, M. Fogel, C.D. Bush, Utilization of Water Resources in a coastal ground water basin. J. Soil and Water Conserv. 21(5), 1966.
15) B. Steinich, I. Simon, A. Chavarría, L. Marín, Geophysical Investigations of the vadose zone in the Valley of Hermosillo Aquifer, Sonora, México. Geofísica Internacional, Vol. 36, Num. 3. 1997.

DETERMINACIÓN DE VARIABLES CUALITATIVAS COMO FACTORES CLAVES EN LA PROGRAMACIÓN DE LOS PROYECTOS DE EDIFICIOS EN ALTURA, REGIÓN COQUIMBO, CHILE

OSCAR CONTRERAS*, RONNIE KAUER

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis y se determina en términos cualitativos los factores claves que inciden en la adecuada programación de las duraciones de las actividades en los proyectos de construcción de edificios en altura en la ciudad de Coquimbo, Chile. El análisis profundiza el estudio y desarrollo del modelo estocástico pert/cpm modificado aplicado con antelación, del cual nace la búsqueda de explicaciones de las desviaciones obtenidas, encontrándose, variables del tipo cualitativas que influyen en el resultado de dichas desviaciones al realizar un proyecto de la envergadura del indicado. Estas variables cualitativas, se definen entonces como factores claves, proponiéndose un modelo para con su consideración en los mencionados proyectos de edificación.

ABSTRACT

In this paper, an analysis and determined in qualitative terms the key factors that affect the proper programming of the durations of activities in construction projects rise buildings in the city of Coquimbo, Chile. The analysis explores the study and development of the stochastic model pert/cpm applied modified in advance, from which springs the search for explanations of the deviations obtained, being among others, kind of qualitative variables that influence the outcome of these deviations, to conduct a project the size indicated. These qualitative variables are then defined as key factors in proposing a model for consideration in the said building projects.

Keywords: *programación; proyectos; gestión; estocasticidad*

MSC. ING. OSCAR CONTRERAS
Universidad de La Serena, chile
ocontrer@userena.cl
ING. RONNIE KAUER
Universidad de La Serena, Chile
ronniekauer@gmail.com

*Autor para correspondencia: MSc. Ing. Oscar Contreras
Correo electrónico: ocontrer@userena.cl
Recibido: 9 de Junio del 2014
Aceptado: 4 de Mayo del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

A pesar de buscar con distintas técnicas numéricas mayor precisión en la programación y secuenciación de las actividades de un proyecto, como por ejemplo redes neuronales con respecto a lo realizado, aún persisten diferencias que presentan cierta importancia significativa a los dueños o inversionistas de los proyectos, sobre todo por la limitación de recursos [1].

En la Región de Coquimbo, una zona semi-desértica con un gran potencial de crecimiento y desarrollo de la urbanización en donde su cercanía a los centros mineros importantes de la Región de Atacama y Antofagasta, así como la tranquilidad, zona turística y moderado costo de vida con respecto a las zonas anteriormente indicadas sea un atractivo para que gran cantidad de personas opten por vivir y/o vacacionar en la zona ha generado un fuerte impulso en la industria de la construcción en los últimos años. En la Tabla 1 se puede apreciar por medio del indicador Inacor, que (con excepción de las regiones de Antofagasta y Aysén), es la región con mayor crecimiento a nivel nacional.

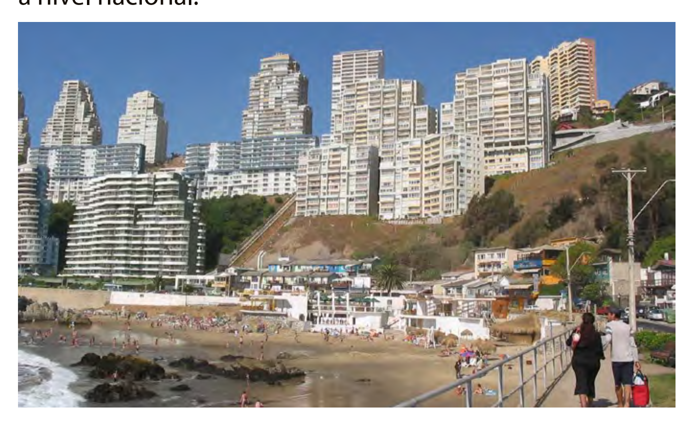


Tabla 1. INACOR, 2013
ÍNDICE DE ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN REGIONAL
Agosto 2013 (Variación mensual, en %)

	Indicadores Parciales			
	Empleo Sectorial	Permisos de Edificación	Consumo de Cemento	INACOR
XV Arica y Parinacota	-36,6	-34,5	-23,8	-7,0
I Tarapacá	-1,4	-53,5	-6,6	-6,8
II Antofagasta	-7,4	-16,1	41,2	21,8
III Atacama	-0,8	-29,5	-12,7	-5,0
IV Coquimbo	-1,1	59,8	11,5	13,4
V Valparaíso	-13,5	66,9	9,1	4,6
VI O'Higgins	-3,0	-57,8	10,4	5,3
VII Maule	-0,5	68,7	-3,2	1,1
VIII Bío Bío	3,1	31,0	-11,0	-7,4
IX La Araucanía	19,9	50,8	4,1	12,7
XIV Los Ríos	-15,5	92,7	-34,8	0,5
X Los Lagos	12,8	27,6	-13,9	5,7
XI Aysén	17,2	75,3	-46,4	17,0
XII Magallanes	-8,0	-78,8	49,6	8,7
RM. Metropolitana	1,3	-39,2	8,6	4,1

Nota: Los crecimientos corresponden a las series en promedio móviles de tres meses desestacionalizadas.
Fuente: CChC en base a las estadísticas del INE e ICH.

En la Tabla 2 se muestra el PIB regional en donde se aprecia el crecimiento del rubro de la industria de la construcción en la zona.

Tabla 2. PIB por Actividad Económica, Región de Coquimbo

Actividad	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (1)
Agropecuario-Silvícola	94.502	91.948	103.860	97.345	104.383	103.934	101.345
Pesca	25.746	23.958	18.006	23.883	24.914	33.415	31.383
Minería	218.175	228.872	209.176	212.899	204.596	235.198	212.193
Industria Manufacturera	68.462	75.174	77.013	74.938	77.732	84.493	82.172
Electricidad, Gas y Agua	37.519	30.277	34.398	34.403	30.762	27.593	36 438
Construcción	101.242	113.494	137.883	148.258	193.427	229.331	185.964
Comercio, Restaurantes y Hoteles	105.362	116.706	124.680	131.287	139.128	149.83	147.181
Transporte y Comunicaciones	114.485	120.540	124.268	127.427	131.945	133.38	134.773
Servicios Financieros y Empresariales (2)	93.376	99.917	108.391	119.339	132.998	134.981	134.566
Propiedad de Vivienda	92.802	95.302	98.546	102.247	106.526	110.970	115.182
Servicios Personales (3)	171.512	181.390	190.487	201.638	206.031	216.566	220.848
Administración Pública	66.825	68.891	70.896	72.909	75.862	78.689	80.876
Menos: Imputaciones Bancarias	-20.429	-21.269	-25.403	-24.686	-28.754	-29.930	-30.206
Producto Interno Bruto	1.169.582	1.225.199	1.272.202	1.321.888	1.399.550	1.508.462	1.452.714

(1) Cifras provisionales.
(2) Incluye servicios financieros, seguros, arriendo de inmuebles y servicios prestados a empresas.
(3) Incluye educación y salud -pública y privada- y otros servicios.
Fuente: Banco Central de Chile, 2011



Para subsanar en parte el desarrollo urbanístico en el borde costero, debido a la geografía circundante, no se inicia el desarrollo de la construcción de edificios en altura, los cuales superan los 18 – 20 pisos. Una de las problemáticas encontradas en la construcción de los edificios de altura en la región de Coquimbo es el manejo operacional de la programación de proyectos (6), la que con un 95% se realiza con cartas Gantt, en donde solo se considera la duración de las actividades en términos determinísticos. En estudios anteriores del mismo autor [2], se propuso un Modelo de Programación Pert/Cpm Modificado, el que incorporando el concepto de la estocasticidad, así como el manejo de tecnologías de la informática actuales, nos permitió acercarnos a mitigar esa diferencia entre lo real y lo programado. Como resultado se le entrega a los dueños del proyecto o inversionistas el concepto del riesgo y de la respectiva variabilidad a la que están expuestas las programaciones de las duraciones de las actividades y de los costos asociados del proyecto. Sin embargo, del análisis de los resultados, tanto de los modelos tradicionales como Carta Gantt, así como Pert/Cpm [3]; [4] y Pert/Cpm Modificado [2]. Según los resultados obtenidos, es claro que persisten diferencias significativas.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR K DE AJUSTE EN BASE A VARIABLES EXTERNAS

En la mayoría de los casos analizados en el ámbito de nuestro estudio, por no decir en su totalidad, no se alcanza el desarrollo de la obra con los tiempos y costes programados con los métodos de programación conocidos. Sólo con los métodos estocásticos se logra alcanzar valores entre 7% y 10% de precisión tanto en la duración como en los costos del proyecto.

De lo anterior es donde nos damos cuenta de que existen variables externas en donde están expuestas las empresas constructoras lo que afectaría tanto en sus duraciones como en sus costos. Dichas variables son; condición de mercado del recurso humano, insumos o materia prima, así como también la condición climática de la región.

En el presente estudio proponemos determinar una función de ajuste *K* a ser aplicada a la programación de la duración de las actividades con el fin de buscar una mayor precisión entre las duraciones programadas y las duraciones reales; lo anterior basado en la proposición realizada en [2].

Por lo tanto se propone determinar la función:

$$K = f(c, t, i) \tag{1}$$

En donde:

K es el factor de ajuste a la programación de las duraciones

c es el porcentaje de variación de las condiciones climáticas a considerar en la región o localidad; t es el porcentaje de variación de la tasa de cambio de la moneda US$, respecto a un año determinado; i es el porcentaje de crecimiento del desarrollo industrial regional o nacional, según sea el o los índices a considerar.

Para nuestro estudio se consideró que para la variable Condiciones Climáticas, lo más importante es la temperatura media y el porcentaje de humedad. Para la variable Desarrollo Industrial, consideramos el PIB base a precios del año 2008, así como la Tasa Regional de Desempleo. Finalmente para la variable Tasa de Cambio se tomó como referencia el año 2008.

Se trataron los datos en términos trimestrales desde el primer trimestre del año 2009 al segundo trimestre del año 2013. El resumen de los datos anteriormente indicados, se encuentran en la Tabla 3 siguiente.

Tabla 3. Resumen de Datos de Clima, Tasa de Cambio y Desarrollo Industrial

Año	Trimestre	Tº MEDIA	% Humedad Relativa	Dólar (Ch$)	Dólar (%)	Desempleo (miles pers)	Desempleo (%)	PIB nac (%)
2009	Dic - Feb	16,7	76,8	626,1	3,60%	21,5	8,00%	-2,87%
	Mar - May	14,1	83,7	580,6	-7,27%	21,2	8,17%	2,40%
	Jun - Ago	10,5	82,6	546,8	-5,82%	24,7	9,02%	1,39%
	Sept - Nov	12,7	77,7	534,2	-2,30%	21,2	7,57%	12,57%
2010	Dic - Feb	15,9	78,8	511,6	-4,24%	17,3	5,93%	-4,16%
	Mar - May	13,9	82,3	525,7	2,76%	27,6	9,17%	5,02%
	Jun - Ago	9,9	81,1	525,9	0,05%	24,1	7,58%	4,34%
	Sept - Nov	12,6	78,7	486,8	-7,44%	22,8	7,28%	9,64%
2011	Dic - Feb	16,5	76,3	480,0	-1,39%	26,7	8,38%	-2,27%
	Mar - May	13,7	79,9	472,9	-1,47%	27,2	8,36%	-1,44%
	Jun - Ago	10,5	81,9	466,4	-1,38%	24,6	7,45%	-0,47%
	Sept - Nov	12,7	80,0	501,3	7,49%	19,5	5,99%	10,69%
2012	Dic - Feb	17,3	75,5	500,0	-0,26%	23,2	6,69%	-3,02%
	Mar - May	14,7	79,7	489,5	-2,10%	19,6	5,73%	0,98%
	Jun - Ago	10,8	78,1	492,9	0,68%	19,5	5,83%	0,07%
	Sept - Nov	13,1	77,0	477,0	-3,22%	21,7	6,32%	10,26%
2013	Dic - Feb	17,5	76,8	474,1	-0,61%	19,1	5,70%	-4,16%
	Mar - May	13,7	78,5	474,7	0,15%	24,8	7,43%	-0,27%

Fuentes: Dirección Meteorológica de Chile, Banco Central de Chile e Instituto Nacional de Estadística de Chile. 2012

Realizando el estudio respectivo de estas variables, se determinan y se seleccionan y se propone la función *K* de ajuste. La cual queda de la siguiente forma:

$$K = f(tm, h, t, d, p) \qquad (2)$$

En donde:

K es el factor de ajuste a la programación de las duraciones

tm es la temperatura media de la zona o región

h es el porcentaje de humedad relativa de la zona

t es el porcentaje de variación de la tasa de cambio de la moneda americana, respecto a un año determinado

d es el porcentaje de desempleo de la región

p es el porcentaje de crecimiento del PIB en la industria de la construcción

Con los datos de la Tabla 3 y los antecedentes de las desviaciones obtenidas en la duración de los proyectos más representativos de la conurbación Coquimbo-La Serena, se conforma un modelo de regresión lineal, como se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Principales Proyectos de Edificios en la Región de Coquimbo

edificio	Fecha Inicio	Fecha Término		duracion (dias)		diferencia	diferencia
	Real	programada	real	programada	real	(dias)	%
Edificio Altamar	dic-09	mar-11	abr-11	439	470	31	7,06
Brisas de San Joaquin	abr-12	oct-12	dic-12	153	233	80	52,29
Espacio Urbano II	may-12	mar-13	jul-13	214	310	96	44,86
Paseo San Carlos	may-12	ene-13	abr-13	180	230	50	27,78
Condominio Mistral III	feb-12	ene-13	may-13	260	331	71	27,31

Fuente: Elaboración Propia

En base al modelo propuesto, la función *K* quedaría definida de la siguiente forma [5]:

$$K = a_1 + a_2 tm + a_3 h + a_4 t + a_5 d + a_6 i \qquad (3)$$

a_1 a_2, a_3, a_4, a_5 y a_6 son los coeficientes de la función

En base a la disponibilidad de valores de desviación obtenidas de las duraciones de los proyectos, se considerará los antecedentes de las variables dependientes propuestas a partir del año 2011 en adelante. Por otra parte, al realizar una determinación como la propuesta, no se obtiene un resultado positivo, ya que se propuso hacer un modelo exponencial. Sin embargo al tener valores negativos en los datos, no es posible la linealización de la función. Entonces, para bajar la negatividad de los datos, éstos se manejan en términos cuadráticos y se prueba un modelo regresivo lineal múltiple, encontrándose con esto la respuesta esperada. Para todos los cálculos se utiliza el Complemento de Excel (MS ™) Análisis de Datos.

En la Tabla 5 se muestra la matriz con los datos en términos cuadráticos considerada para el cálculo.

Tabla 5. Matriz de datos en términos cuadráticos

K	T	H	Tc	Ds	Pib
0,0049865	278,89	5894,82716	0,001296	0,00639357	0,00082369
0,0049865	199,751111	7000,11111	0,00528106	0,00668278	0,000576
0,0049865	110,25	6815,41975	0,00339296	0,00813817	0,00019321
0,0049865	160,444444	6032,11111	0,00052764	0,00573026	0,01580049
0,0049865	253,871111	6205,93827	0,00180072	0,00351735	0,00173056
0,0049865	192,284444	6778,77778	0,00075971	0,00841767	0,00252004
0,0049865	98,6711111	6579,01235	2,0846E-07	0,0057502	0,00188356
0,0049865	157,921111	6188,44444	0,00553905	0,00530545	0,00929296
0,0049865	271,151111	5826,77778	0,00019459	0,00701421	0,00051529
0,0049865	187,69	6382,23457	0,00021698	0,00699399	0,00020736
0,0049865	110,951111	6705,79012	0,00019009	0,0055491	0,00002209
0,0049865	160,444444	6400	0,00560299	0,00358604	0,01142761
0,0049865	300,444444	5701,06186	6,6222E-06	0,00447495	0,00091204
0,0049865	215,111111	6353,63267	0,000441	0,00328059	0,00009604
0,2734244	115,921111	6105,26586	4,6836E-05	0,00340302	0,00000049
0,201242	172,484444	5930,65603	0,00103818	0,00399167	0,01052676
0,0771728	306,25	5901,95912	3,7479E-05	0,0032456	0,00173056
0,0745836	188,604444	6164,43827	2,1186E-06	0,00552147	0,0000729

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados del ajuste

Resumen								
Estadísticas de la regresión								
Coeficiente de correlación múltiple	0,9484							
Coeficiente de determinación R^2	0,8995							
R^2 ajustado	0,7738							
Error típico	0,0459							
Observaciones	10							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*			
Regresión	5	0,0754	0,0151	7,157	0,0399			
Residuos	4	0,0084	0,0021					
Total	9	0,0838						
	Coeficientes	*Error típico*	*Estadístico t*	*Probabilidad*	*Inferior 95%*	*Superior 95%*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Intercepción	2,232	0,599	3,728	0,020	0,570	3,893	0,570	3,893
Variable X 1	-0,0015	0,000	-4,328	0,012	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001
Variable X 2	-0,0003	0,000	-3,189	0,033	-0,001	0,000	-0,001	0,000
Variable X 3	-22,508	17,976	-1,252	0,279	-72,418	27,401	-72,418	27,401
Variable X 4	-24,655	11,194	-2,203	0,092	-55,733	6,424	-55,733	6,424
Variable X 5	2,803	6,949	0,403	0,707	-16,492	22,097	-16,492	22,097

Fuente: Elaboración propia

Sobre la base de los resultados obtenidos, se propone el modelo que determina el valor de *K* en términos cuadráticos y así obtener el valor de *K* final [6].

$$K^2 = a_1 + a_2 tm^2 + a_3 h^2 + a_4 t^2 + a_5 d^2 + a_6 i^2 \quad (4)$$

$$K^2 = 2.232 - 0.0015tm^2 - 0.0003h^2 - 22.508t^2 - 24.655d^2 + 2.803i^2 \quad (5)$$

$$K = \sqrt{2.232 - 0.0015tm^2 - 0.0003h^2 - 22.508t^2 - 24.655d^2 + 2.803i^2} \quad (6)$$

De (6) y reemplazando los valores de la Tabla 5, se obtiene:

$$K = 0.27 \quad (7)$$

Al obtener el valor *K*, interpretamos que a la programación de la duración de las actividades de un proyecto es necesario agregar un 27% para su proposición final. A modo de prueba, se consideró la programación de los proyectos en estudio, aplicando el Factor *K*. Los resultados se aprecian en la Tabla 7.

Tabla 7. Duraciones de las actividades de los proyectos, utilizando Factor *K*

N°	edificio	Fecha Inicio	Fecha Término		duracion (dias)		diferencia	diferencia	Programada	diferencia
		Real	programada	real	programada	real	(dias)	(%)	con K (dias)	con K (%)
1	Edificio Altamar	dic-09	mar-11	abr-11	439	470	31	7,06	557,5	15,70%
2	brisas de sn joaquin	may-12	oct-12	dic-12	153	233	80	52,29	194,3	-19,91%
3	Espacio Urbano II	may-12	mar-13	jul-13	214	310	96	44,86	271,8	-14,06%
4	Paseo San Carlos	may-12	ene-13	abr-13	180	230	50	27,78	228,6	-0,61%
5	Condominio Mistral III	feb-12	ene-13	may-13	260	331	71	27,31	330,2	-0,24%

Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores vistos en la Tabla 7, se desprende que si se hubiera considerado el Factor *K* en la programación de los proyectos considerados, las desviaciones claramente se hubieran visto reducidas de manera significativa, lo que habría significado reducir el impacto en los costos de las inversiones y las empresas, hubieran podido aprovechar mejor desde el punto de vista económico, las oportunidades del mercado, así como la posibilidad de poder ofrecer un precio más competitivo por sus productos.

4. CONCLUSIONES.

Una vez realizado los cálculos para la determinación del Factor *K* de ajuste a las duraciones de las actividades de un proyecto de construcción de un edificio en altura, podemos establecer que las variables consideradas inicialmente como cualitativas, Se pueden manejar en términos cuantitativos.

Al utilizar el Factor *K* de ajuste se pudo dar cuenta que al tener presente la aplicación de dicho factor obtenemos una importante baja en el porcentaje de desviación de las duraciones. El efecto más notorio se observa en los dos últimos proyectos, en los cuales se obtiene solo una variación de un día. Esto nos lleva a pensar que las variaciones se presentan según las condiciones dadas o la evolución que tengan las variables incluidas en el modelo. De esta manera será posible bajar tanto la incerteza como la desviación de la duración de los proyectos, lo que traería consigo que los inversionistas colocaran sus productos al mercado en el momento que se necesiten; además de reducir los riesgos del incremento de los costos financieros asociados al financiamiento del proyecto [7].

Es muy posible que los ajustes a la programación de proyectos en cuanto a su duración sean explicados también por otras variables internas al proyecto. Las variables que desprenden del análisis de los resultados obtenidos del modelo, podrían ser expertos del programador, grado de capacitación del personal del proyecto o que pueden existir otras variables externas que también incidan y que es importante considerar al momento de realizar un proyecto de estas características para llegar a su término con una desviación mínima, que es lo esperado por sus dueños o inversionistas.

Finalmente, para continuar con este estudio, se propone continuar buscando variables que incidan de forma interna o externa a los proyectos y su cuantificación, tanto en las duraciones como en los costos, utilizando herramientas tanto matemáticas como tecnológicas simples que puedan ser aplicadas por cualquier profesional del área.

BIBLIOGRAFÍA

1) W. S. Herroelen. “Project Scheduling—Theory and Practice”, *Production and Operations Management*; Vol. 14, No. 4, Winter 2005, p. 413–432.
2) O. Contreras G. “Aplicación y Análisis del Modelo Pert/ Cpm Modificado, en la Programación de la Duración de las Actividades en la Construcción de Edificios en Altura en Coquimbo, Chile”, *Iberoamerican Journal of Project Management*, Vol. 3, N°1, 2012.
3) M. Ishaque, A. K. Zaidi, A. H. Levis. “Project Management Using Point Graphs”, *Systems Engineering*, Vol. 12, No. 1, 2009, p. 36-54.
4) S. Capuz, E. Gómez-Senent, A. Torrealba López; P. Ferrer Gisbert, J. L. Vivancos, T. Gómez. “Dirección, Gestión y Organización de Proyectos”, *Cuadernos de Ingeniería de Proyectos III*; Editorial UPV, España, 2002.
5) N. Gujarati, Damodar, C. Porte Dawn. “Econometría”, 2010, 5ta Ed., Editorial McGraw Hill, Cap. 6.
6) H. Kohler. “Estadística para negocios”, 1996, 1ra Ed., Editorial CECSA, Cap. 13.
7) M. Vanhoucke, A. Vereecke, P. Gemmel. “The Project Scheduling Game (PSG): Simulating Time/Cost Trade-Offs in Projects”, *The Project Management Institute*, 2005, Vol. 36, No. 1, 51-59, ISSN 8756-9728/03.
8) A. Serpell, L. Alarcón. “Planificación y Control de Proyectos”, 2003, 2da. Ed., Editorial Universidad Católica de Chile.



SHALE GAS - LOS YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES: ORIGEN DEL SHALE GAS

JOSÉ FRANCISCO LONGORIA TREVIÑO

RESUMEN

Elshale gas tiene su origen en la acumulación de materia orgánica en cuencas marinas. En Norteamérica el gas de lutita (shale gas) es una fuente emergente de gas natural de bajo costo. El gas natural es una fuente de energía abundante y relativamente limpia al quemarse. Se ha convertido en un combustible popular tanto para aplicaciones residenciales como industriales.

De acuerdo con los datos recientes se estima que el suministro de gas natural derivado de yacimientos no convencionales (gas de lutita – shale gas) durará más de 100 años. El gas natural ofrece un remplazo potencial para sustituir a los combustibles fósiles que producen gases de efecto invernadero y que en la actualidad se usan en la generación de energía, calefacción y transporte. Las emisiones de gas deefecto invernadero de la combustión de gas natural son aproximadamente 30% más limpias que aquellas que sederivan del aceite y 45% más limpias de las del carbón.

Palabras clave: Shale gas, gas de lutita, hidrocarburos no convencionales, play Agua Nueva, play La Casita.

ABSTRACT

Shale gas has its origin in the accumulation of organic matter in marine basins. In North America shale gas (gas de lutita) is an emerging source of low-cost natural gas. Natural gas is a source of abundant energy and relatively clean burning.It has become a popular fuel both for residential applications as well as industrial uses. According to recent data, it is estimated that the supply of natural gas derived from non-conventional deposits (shale gas – gas de lutita) will last over 100 years. Natural gas offers a potential replacement to replace fossil fuels which produce gases with greenhouse effect and that are currently used in the generation of energy, heating and transport. The greenhouse gas (GHG) emissions of natural gas combustion are approximately 30% cleaner than those derived from oil and 45% cleaner than the coal.

Keywords: *Shale gas, non-conventional deposits, play Agua Nueva, play La Casita.*

DR. JOSÉ FRANCISCO LONGORIA TREVIÑO
ESI- Universidad Autónoma de Coahuila,
Instituto Longoria de Investigaciones
Científicos Aplicadas,
Earth and Environment Department,
Florida International University
Correo: longoria@ilica-mx.org

*Autor para correspondencia: Dr. José F. Longoria Treviño
Correo electrónico: longoria@ilica-mx.org
Recibido: 23 de Marzo del 2015
Aceptado: 22 de Abril del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

En tiempos recientes hay un creciente interés por la explotación de yacimientos de hidrocarburos no convencionales y en particular del shale gas (gas de lutita). Del gas de lutita se ha dicho que representa el futuro de la explotación de hidrocarburos y aún más, se piensa que el gas extraído de las lutitas dará la independencia energética a países altamente desarrollados como los Estados Unidos. Asimismo, se estima que el shale gas (gas de lutita proporcionará a México una estabilidad energética ligada a la reciente reforma energética del país. Sin embargo, al mismo tiempo que se ha detonado este boom petrolero [1] también ha emergido una fuerte oposición por parte de los ambientalistas quienes han cuestionado los beneficios de esta actividad petrolera en México, ya que están preocupados por el impacto medioambiental que la exploración y sobre todo la explotación de estos hidrocarburos no convencionales pueda causar a las regiones en donde se proyecta una actividad de exploración-explotación de gas de lutita. Fundamentalmente esta actividad se concentrará en los estados norteños incluyendo Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Por lo mismo es importante tener un conocimiento claro de lo que es el gas de lutita (shale gas), su origen, métodos de exploración y métodos de explotación y entonces poder evaluar su impacto ambiental y su impacto económico.

La intención del presente artículo es dar a conocer de una forma sencilla y explícita, sin las complicadas terminologías técnico-geológicas y geofísicas que se utilizan en el trabajo de exploración de los yacimientos no convencionales, sino más bien, con un lenguaje que esté al alcance del lector neófito de la ciencia geológica con el objetivo de hacer énfasis en la distribución del conocimiento a nivel general acerca del gas de lutita (shale gas). La adquisición de este conocimiento general sobre el gas de lutita, su origen, exploración y explotación, es de fundamental importancia para así lograr tener una opinión y puntos de vista informados que coadyuven a tomar decisiones y opiniones educadas. El presente análisis del gas de lutita se enfoca en el origen y caracterización los yacimientos de gas de lutita

EL ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN DEL GAS DE LUTITAS

En el norte-noreste de México con mucha frecuencia se encuentran depósitos de rocas ricas en materia orgánica que se reconocen a simple vista por su coloración gris oscura a negra y por su olor fétido al golpe del martillo (Figura 1). Se trata de lutitas gasíferas (shale gas) por lo que surgen las preguntas: ¿Cuál es el origen de los de depósitos ricos en materia orgánica? y ¿Qué es el gas de lutita (shale gas)?



Figura 1. Fotografía de campo mostrando un afloramiento (exposición de campo) típico de lutita gasífera en el estado de Nuevo León. Las capas de lutita están intercaladas con estratos de calizas arcillosas. Nótese la coloración gris oscura a negra de las rocas, denotando la riqueza en materia orgánica.



El origen de los depósitos de rocas ricos en materia orgánica

Para entender el origen de las lutitas gasíferas (shale gas) es necesario recurrir al pensamiento geológico de que el presente es la clave para entender el pasado por lo mismo en estudios geológicos es frecuente recurrir a modelos análogos recientes, en caso de los depósitos de rocas ricos en materia orgánica recurrimos al Mar Negro (Figuras 2 y 3) como modelo análogo para entender cómo se formaron las lutitas gasíferas que de origen son ricas en materia orgánica. En la figura 3 se muestra una representación de la zonificación de las aguas en una cuenca tipo Mar Negro. Se observa que las aguas superiores (en azul claro) mantienen una circulación abierta, claramente oxigenadas, mientras que las aguas más profundas delimitadas por la morfología de la cuenca (en verde claro) son aguas desprovistas de oxígeno, es decir, son anóxicas. En el fondo o piso de la cuenca se acumula la materia orgánica junto con sedimentos finos los cuales darán origen a las lutitas gasíferas de color gris oscuro a negro.



Figura 2. Mapa índice del Mar Negro y su caracterización oceánica. Imagen tomada de Google Earth.

La existencia de cuencas marinas con la morfología y dinámica requerida para la acumulación de materia orgánica asociada a sedimentos finos (lutitas) está controlada por la paleogeografía, es decir por la distribución de masas de aguas y tierras positivas. Cabe mencionar que la configuración paleogeográfica del mundo ha sido muy cambiante y regulada por la dinámica de las placas tectónicas. En el caso del continente norteamericano el avance de las aguas marinas desde el Golfo de México/Atlántico ha sido constante entre el intervalo de tiempo geológico comprendido entre 152 a 94 millones de años correspondientes al Jurásico Superior y al Cretácico Superior respectivamente. Esos intervalos corresponden a la generación de lutitas gasíferas en el norte de México.

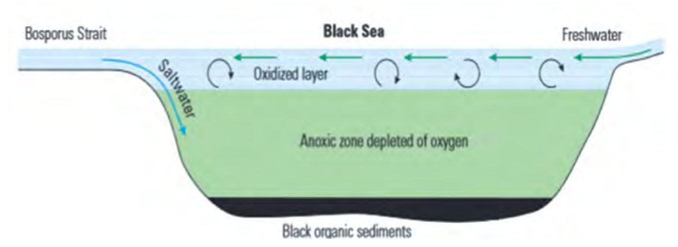


Figura 3. Origen de los yacimientos de hidrocarburos. Nótese la zonificación vertical de las aguas marinas en una cuenca tipo Mar Negro y la acumulación de materia orgánica.

Las reconstrucciones paleogeográficas establecidas por Scotese [2] sirven de modelo de trabajo para visualizar la distribución de aguas marinas someras en el continente Norteamericano, destaca la distribución de mares que resultó en la extensión de las aguas marinas a lo largo de Norteamérica y su clara presencia en el norte de México en donde se llevó a cabo la acumulación de sedimentos finos (lutitas) ricas en materia orgánica.

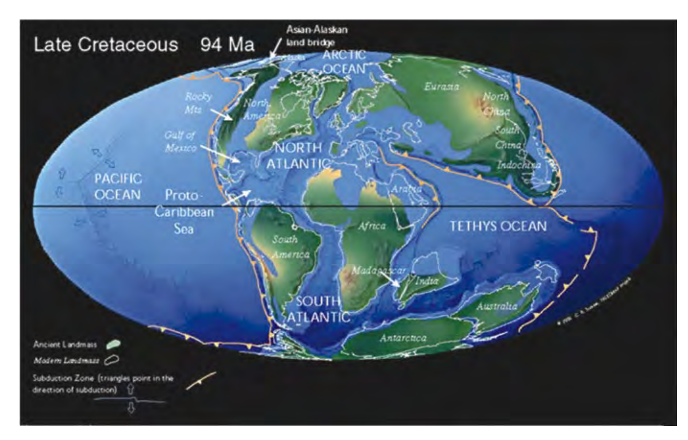


Figura 4A. Reconstrucción paleogeográfica del mundo en el Cretácico tardío (94 millones de años). Mapa paleogeográfico por Scotese [2].

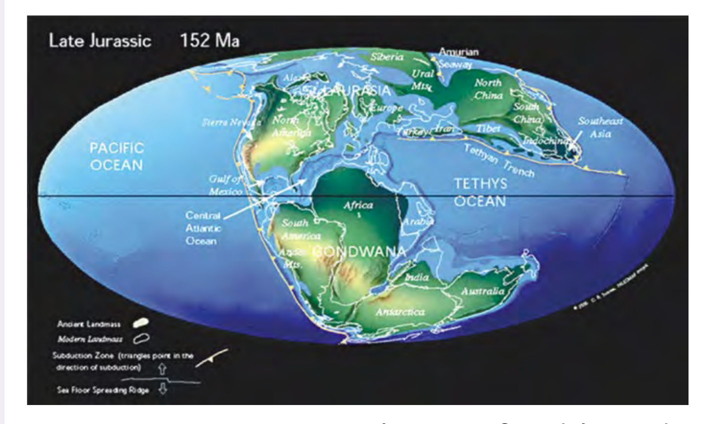


Figura 4B. Reconstrucción paleogeográfica del mundo en el Jurásico tardío (152 millones de años). Mapa Paleogeográfico por Scotese [2].

En el norte de México durante el Cretácico Superior (Figura 4A) se acumularon grandes espesores de sedimentos finos derivados de la erosión de las masas continentales adyacentes a los cuerpos de agua (cuencas). Estos sedimentos finos, a través del tiempo geológico, miles a millones de años, se depositan en el fondo marino para luego compactarse y formar una roca muy densa y compacta conocida como *lodolita*, dando lugar a las acumulaciones de rocas que son designadas con diferentes nombres: Formación Ojinaga en Chihuahua, Formación Eagle Ford en Coahuila, y Formación Agua Nueva en Nuevo León y Tamaulipas.

Durante el Jurásico tardío (Figura 4B) en el norte de México se acumularon potentes espesores de lutitas gasíferas que se conocen como Formación La Casita.

Por su naturaleza paleogeográfica estos dos intervalos estratigráficos (Jurásico Superior y Cretácico Superior) son en México los tiempos de mayor acumulación de lutitas ricas en materia orgánica y consecuentemente es donde se concentra la generación de hidrocarburos tanto de gas como de aceite. Esto se debe a que los asentamientos geológicos en el norte de México durante esos tiempos fueron ideales. En las figuras 5 y 6 se muestra la reconstrucción ambiental que prevaleció durante esos intervalos en el norte-noreste de México.

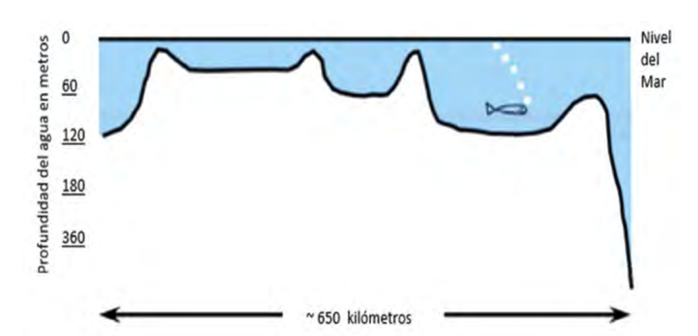


Figura 5. Perfil batimétrico generalizado que muestra las profundidades de las aguas marinas en el norte de México durante el Cretácico Superior. Este esquema es aplicable a las acumulaciones de lutita rica en materia orgánica del norte de México. Este asentamiento paleogeográfico da origen al depósito de las formaciones gasíferas conocidas como Agua Nueva en Tamaulipas y Nuevo León, Indidura, Parras y Eagle Ford en Coahuila, y Ojinaga en Chihuahua.

En la figura 4A se muestra el mapa de la reconfiguración geografía del mundo hace 152 millones de años, es decir, durante el Jurásico Superior, en el cual se observa que las aguas marinas del antiguo Golfo de México habían iniciado una transgresión, es decir, avanzado sobre el continente migrando en dirección de sureste al noroeste, por lo que las aguas marinas avanzaron al oeste-noroeste en lo que corresponde al norte de México y sur de Texas.

En la figura 6 se muestra la reconstrucción de la Cuenca de Sabinas durante el Jurásico en donde se observa que en ese tiempo existieron varias áreas en las cuales la circulación de las aguas marinas era restringida, dando así origen a los depósitos ricos en materia orgánica de la Formación La Casita. Esta es una de las unidades estratigráficas generadoras de hidrocarburos de México y se considera como la roca generadora de los grandes yacimientos de aceite del sureste de México, sobre todo de la sonda de Campeche (Ángeles-Aquino) [3]

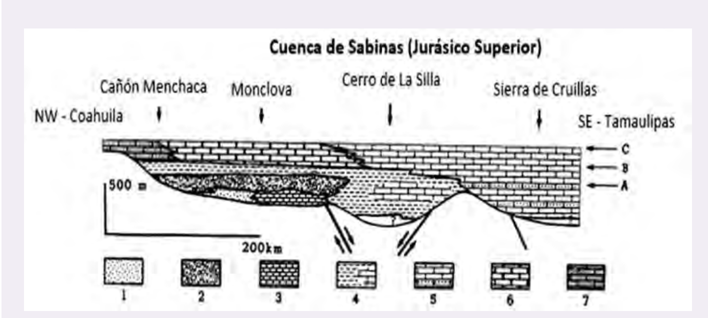


Figura 6. Reconstrucción paleogeográfica con orientación SE (norte de Tamaulipas) al NW (centro de Coahuila) de la Cuenca de Sabinas mostrando los tipos de rocas sedimentarias marinas depositadas durante el Jurásico Superior. Las unidades líticas reconocidas en esa región son: (1) El Yeso Minas Viejas, (2) la Formación La Gloria, (3) la Caliza Zuloaga, (4) la Formación La Casita, (5) la Caliza San Ángel, (6) la Formación Taraises, (7) la Formación Menchaca. Las líneas de tiempo están marcadas por los biohorizontes definidos por (a) la primera aparición de la amonita *Idoceras*, (B) la primera aparición del *calponellido Calpionella alpina*; (C) la primera apariciónde *Calpionella elliptica*. Se infiere que durante ese tiempo existieron varias áreas en las cuales la circulación de las aguas marinas era restringida dando así origen a los depósitos ricos en materia orgánica de la Formación La Casita, la cual es considerada como la roca generadora de los grandes yacimientos de hidrocarburos del sureste de México. En la actualidad se considera la Formación La Casita como una de las principales rocas potencialmente explotable como yacimiento de hidrocarburos no convencionales tanto de gas como de aceite en el norte de México [4].

Origen de las lutitas

Una lodolita está formada por partículas muy pequeñas del tamaño del limo y la arcilla, es decir, la lodolita tiene partículas o granos menores de 0.0625 mm, el límite de tamaño de grano entre el limo y la arcilla se sitúa en 0.0039 mm. La acumulación de esos sedimentos sin compactar se les conoce como lodo. La lodolita es una roca compacta de la acumulación de lodo, con fractura concoide y de coloración variable dependiendo de su contenido de minerales secundarios, pero aquellas ricas en materia orgánica tienden a ser de color gris oscuro a negro. La lodolita al estar expuesta a fuertes presiones y temperaturas se sigue compactando para dar origen a

una laminación muy pronunciada o fisilidad y entonces se convierte a lutita (shale) la cual se caracteriza por su marcada fisilidad y fracturación en láminas delgadas. La lutita expuesta a más compactación por presión y temperatura se transforma a pizarra o argilita la cual ha sufrido metamorfismo de bajo grado. Las rocas de grano fino, lodolitas y lutitas comprenden el 65% de todas las rocas sedimentarías de la corteza terrestre, de ahí su impacto como rocas potencialmente generadoras de yacimientos de hidrocarburos no convencionales.

La lutita contiene minerales de grano muy fino los cuales están separados por espacios conocidos como POROS. Las moléculas de gas natural y el aceite que están almacenados en la lutita son muy variables dependiendo de: 1) la cantidad de espacio poroso vacío, 2) la cantidad de materia orgánica presente, 3) la presión de yacimiento y, 4) la madurez térmica de la roca. La madurez térmica de la roca mide la presión y temperatura a la que está expuesta la roca. También mide si la generación de aceite y gas se llevó a cabo durante este proceso.

Durante el pasado geológico hubo depósitos de estos sedimentos finos tanto en lagos como en aguas marinas los cuales con frecuencia contenían fragmentos de plantas y animales. A través de los años (miles a millones de años) los sedimentos que contenían material orgánico se compactaron y solidificaron a través del sepultamiento y con el aumento de la temperatura y presión formaron lodolitas y luego lutitas ricas en materia orgánica. Esta materia orgánica finalmente genera aceite y gas por el proceso de descomposición influenciado por la temperatura y la presión, esos hidrocarburos en muchos casos migran hacia otras rocas más porosas tales como areniscas y calizas fracturadas formando de esta manera un yacimiento convencional de aceite y gas (Figura 7).





Figura 7. De Lodolita a Lutita. Foto superior: Ejemplar típico de lodolita del Cretácico Superior de Nuevo León.

Foto inferior: Las lodolitas originales cuando se ven expuesta a procesos estructurales adquieren fisilidad y se convierten en lutitas las cuales pueden llegar a fracturarse con lo que se forma un sistema natural de flujo para el aceite y el gas natural hacia el pozo. El color puede variar de café oscuro a gris hasta completamente negro tal y

como se observa en muchos ejemplos de lodolitas negras del Jurásico del noreste de México las cuales se asignan a la Formación La Casita. Mientras que las lodolitas de la Formación Agua Nueva varían de café pardo a gris oscuro.

¿Qué es el gas de lutita (shale gas)? ¿Cuál es la diferencia entre gas natural, gas natural líquido, shale gas, oil shale y metano?

Shale gas es gas natural, no tan diferente como el que usamos en las casas tanto para calefacción como para cocinar, o para generar electricidad. Este gas se entrampa en las lodolitas que al compactarse y transformarse en lutitas conservan e incluso concentran la cantidad de gas entrampado en los poros.



Figura 8. La clásica flama azul del gas natural tan utilizada en usos domésticos. Fuente: Google Images.

El gas natural (Metano) es un gas inodoro e incoloro, formado en gran parte durante millones de años en el subsuelo. Está hecho de una variedad de compuestos, pero el metano es el más significativo. El gas natural es un combustible fósil, liberando gases de efecto invernadero cuando es quemado (Figura 8), pero es menos contaminante para la atmósfera que el carbón, liberando aproximadamente la mitad de sus emisiones de carbono. La fórmula química del metano es CH_4 (Figura 9). Cuando se extrae del subsuelo, el gas natural además de metano puede contener otros gases tales como etano, propano y butano, también incluye impurezas como agua y azufre todos esos compuestos se remueven para otras aplicaciones.

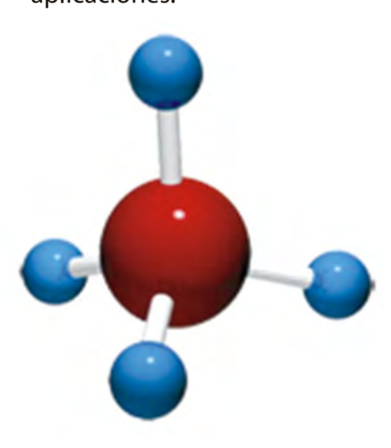


Figura 9. Representación gráfica de la molécula de metano formada por CH4. Fuente: Google Images

El shale gas (gas de lutita) se extrae por el método de fracking o fracturamiento hidráulico de la lutita. Se estima que un 35 por ciento de rocas superficiales del mundo son lutitas de ahí el impacto comercial potencial; sin embargo, la explotación de gas de lutita por el método de fracking es considerado como potencialmente dañino para el medio ambiente (ver discusión más adelante en este artículo). Como ejemplo, se calcula que tan solo en el norte de Inglaterra hay 1300 trillones de pies cúbicos de gas de shale gas.

De acuerdo a la International Energy Agency [5] la explotación de shale gas tiene el potencial de traer consigo una transformación total de sistema energético mundial a medida que diferentes países desarrolla este recurso.

Aceite de lutita shale oil, por medio del fracking, usado en la extracción de shale gas, se puede también obtener el shale oil o aceite de lutita. En Estados Unidos la Energy Information Administration [6] estima que el shale oil representa un 10 % de los recursos de crudo.

Gas natural licuado (gas LP) o **Liquefied natural gas (LNG)**. El gas natural líquido se obtiene por el enfriamiento del gas natural a temperaturas del orden de los -160ºC, con lo cual se crea un líquido incoloro, no toxico que es 600 veces más pequeño que el gas natural, lo cual reduce el volumen y facilita su transportación sea por tierra o por mar. En el noreste de México el gas LP se procesa en el Centro de Procesado de Gas Burgos en el estado de Tamaulipas (Figura 10) [7]. En la actualidad el exportador más grande de gas natural líquido es Qatar el cual envía grandes buques tanques a todo el mundo.



Figura 10. Centro de Procesado de Gas Burgos en el estado de Tamaulipas [7].

Diferencia entre el gas LP (LPG Liquefied Petroleum Gas) y el gas natural. **El gas LP (LPG)** incluye más de un tipo de gas, por lo que hay varios hidrocarburos gaseosos que caen en la categoría de gas LP, la característica de ellos es que pueden ser comprimidos a líquido a presiones relativamente bajas de ahí su nombre LPG (Liquefied

Petroleum Gas). Los dos gases LP más comunes (Figura 11) son el propano (C_3H_8) y el butano. (C_4H_{10}). La diferencia entre LPG y gas natural incluye:

1.- *El contenido de energía:* el LPG tiene un valor calorífico o contenido de energía más alto de tal forma que se necesita menos gas para producir la misma cantidad de calor.

2.- *La proporción de oxígeno para la combustión:* El gas LP requiere una proporción de oxígeno a gas de 25:1. El gas natural requiere de una proporción de 10:1.

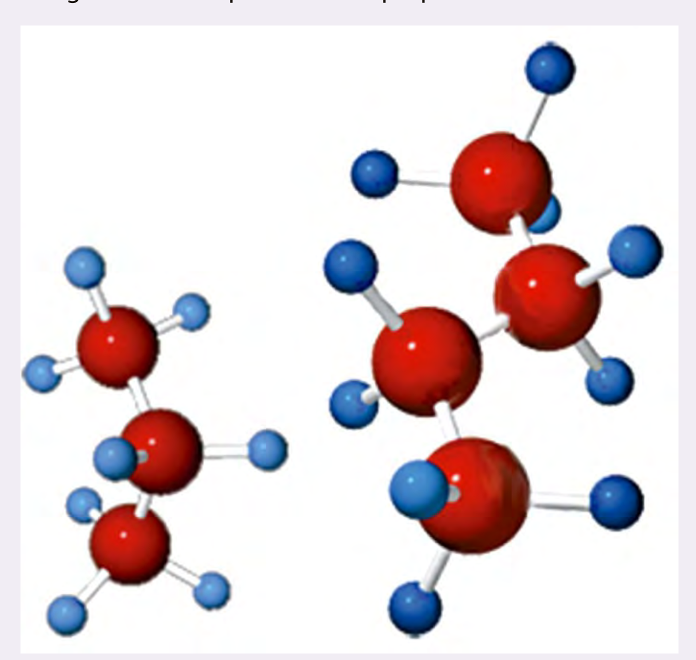


Figura 11. Representación gráfica de la molécula de propano (C_3H_8) y el butano.(C_4H_{10}). Fuente: Google Images.

El etano. (C_2H_6) Es un gas incoloro, inodoro de la serie del metano presente en el gas natural y en el petróleo crudo. Se usa principalmente en la síntesis orgánica y como gas combustible.

El metano de los estratos de carbón o **Coal bed methane (CBM)** El metano se encuentra en forma natural en el subsuelo dentro de las reservas de carbono. Este gas se puede extraer usando una variedad de técnicas. En comparación con el shale gas la cantidad de gas que se puede obtener de depósitos de carbón es muy pequeña.

CONCLUSIONES

Con base en las características litológicas, de contenido de materia orgánica y su origen marino se considera que en México existe un potencial alto para localizar yacimientos de shale gas en el noreste de México en donde la historia geológica permite identifica el desarrollo paleogeográfico de cuencas ricas en lutita con alto contenido en materia orgánica durante el Jurásico Superior (Formación La Casita) y el Cretácico Superior (Formaciones Agua Nueva/Eagle Ford). Sin embargo, aún hacen falta estudios estratigráficos-estructurales detallados y análisis geoquímicos de esas rocas que permitan conocer la naturaleza de la materia orgánica contenida en las lutitas y determinar su evolución a través de la historia térmica de la región durante el sepultamiento. Esto permitirá entonces evaluar los prospectos y definir los plays existentes.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los dos revisores del manuscrito de este trabajo por sus atinadas sugerencias y comentarios. El presente trabajo se realizó con el apoyo de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila a través de una beca PROMEP.

BIBLIOGRAFÍA

1) Ziemkiewicz, P.F; Quaranta, J.D.; Darnell, A. and Wise, R. 2014. Exposure pathways related to shale gas development and procedures for reducing environmental and public risk. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 16, p. 77-84.
2) PALEOMAP Project. www.scotese.cm
3) Ángeles Aquino, F. 1996. Estratigrafía del Jurásico Superior del subsuelo de la sonda de Campeche (Golfo de México), Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Tesis de Maestría.
4) Longoria, J.F. 1984. Stratigraphic studies in the Jurassic of northeastern Mexico: Evidence for the origin of the Sabinas Basin. GCSSEPM Foundation Third Annual Research Conference Proceedings, March 1984, p 171-193.
5) International Energy Agency. http://www.iea.org/
6) U.S. Energy Information Administration (EIA). http://www.eia.gov/
7) Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2012-2026. http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PGLP_2012_2026.pdf



COMER MEJOR Y MOVERSE MÁS: PROGRAMA CONTRA LA OBESIDAD Y SOBREPESO EN ALUMNOS DEL QUINTO Y SEXTO GRADO DE LA ESCUELA PRIMARIA "JOSÉ MARÍA LEYVA", HERMOSILLO, SONORA

BRIANDA CECILIA SERECER VARELA*, JULIO ALFREDO GARCÍA PUGA

RESUMEN

El aumento mundial de sobrepeso y obesidad es atribuible a factores como dieta con aumento de la ingesta de alimentos hipercalóricos y disminución de la actividad física. El objetivo fue evaluar un programa de intervención cuya meta era disminuir el IMC en niños de quinto y sexto grado en una escuela primaria de Hermosillo, Sonora. El programa se implementó de diciembre de 2013 a junio de 2014 en tres etapas: por Enfermería, Nutrición, y Cultura física y deporte. Se logró reducir el Índice de Masa Corporal de los escolares (IMC inicial 19.25, IMC final 18.71). De acuerdo a la prueba de Wilcoxon se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el peso inicial y final (p:00). La implementación de programas multidisciplinarios en la atención contra la obesidad conlleva a la disminución de sobrepeso y obesiday disminución de factores de riesgo para la salud.

Palabras-clave: Sobrepeso, obesidad, programa contra obesidad.

ABSTRACT

The global increase in overweight and obesity are attributable to factors such as diet with increased intake of energy-dense foods and decreased physical activity. The aim was to evaluate one intervention program focus to reduce the IMC in children in fifth and sixth grade at an elementary school in Hermosillo, Sonora. The program was implemented from december 2013 to june 2014 in three stages: by team of Nursing, Nutrition, and Sport and Physical Culture, and it was possible to reduce the body mass index of school (baseline BMI 19.25, end BMI 18.71). According to the Wilcoxon test statistically significant differences between the initial and final weight (p: 00) were found. The implementation of multidisciplinary care programs against obesity leads to the decrease of overweight and obesity, and the decrease of risk factors for health.

Keywords: *Overweight, obesity, program against obesity.*

L.E. BRIANDA CECILIA SERECER VARELA
Hospital San José Hermosillo
Correo: briice-hermosill@hotmail.com
DR. JULIO ALFREDOGARCÍA PUGA
Departamento de Enfermería,
Universidad de Sonora.
Correo: alfredogarcia@enfermería.uson.mx

*Autor para correspondencia: L.E. Brianda C. Serecer Varela
Correo electrónico: briice-hermosill@hotmail.com
Recibido:10 de Septiembre del 2014
Aceptado:22 de Marzo del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

El aumento mundial de sobrepeso y obesidad es atribuible a factores como dieta con aumento de la ingesta de alimentos hipercalóricos y disminución de la actividad física [1]. México se encuentra en un proceso de desarrollo y de cambios socioculturales acelerados, en gran medida asociados a la creciente incorporación en la comunidad económica internacional, aspecto que impacta en la salud de la población en diferentes grados. Se considera que la obesidad en nuestro país es un problema de salud pública de gran magnitud, que tendrá implicaciones económicas, sociales y de salud a mediano y largo plazo, por lo cual es importante aplicar estrategias de educación nutricional, destinadas a promover formas de vida saludables, considerando la cultura alimentaria, así como aspectos del desarrollo social y económico [2].

La obesidad infantil incrementa el riesgo de aparición de patologías crónicas en la edad adulta, como hipertensión, diabetes mellitus, hiperlipoproteinemia y enfermedades cardiovasculares, que condicionarán una menor esperanza de vida y un aumento en el deterioro de la calidad de vida, junto con un incremento del gasto sanitario, directo e indirecto [3].

La prevalencia a nivel mundial de sobrepeso y obesidad en la población infantil en el 2010 fue de 42 millones. Los niños que padecen sobrepeso y obesidad son susceptibles a ser obesos durante su edad adulta y desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles como hipertensión arterial, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares, por tal motivo la prevención de obesidad infantil es de suma importancia [4].

En México, de acuerdo a las encuestas nacionales de salud de los años 1999 y 2006 demostraron que tanto el sobrepeso como la obesidad en niños de entre 5 y 11 años aumentaron casi un 40%; sin embargo, la última encuesta nacional reveló que en el país, 26% de los niños en edad escolar presentan sobrepeso y obesidad [5, 6].

En relación a los escolares la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad fue en el 2012, de 34.4%; para las niñas fue del 32% mientras que para los niños fue del 36.9%, lo que representan 5, 664,870 niños con sobrepeso y obesidad en el ámbito nacional [7].

Por su parte, la Secretaria de Salud [8] estimó la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en uno de cada cuatro niños (26%), mientras que uno de cada tres adolescentes la padecen (31%).

Por lo cual, los estudios revelan que la obesidad va en franco ascenso, ya que más de la mitad de la población tiene sobrepeso y más del 15% es obeso; esta situación se ha relacionado con las transiciones demográfica, epidemiológica y nutricional, que son explicadas por cambios importantes en la cultura alimentaria de nuestro país, además, otros factores asociados son la adopción de estilos de vida poco saludables y los acelerados procesos de urbanización en los últimos años [9].

El aumento mundial del sobrepeso y la obesidad tiene graves consecuencias para la salud y es atribuible a diversos factores entre los que se encuentran: la modificación de la dieta con una tendencia al aumento de la ingesta de alimentos hipercalóricos, ricos en grasas y azúcares, pero con escasas vitaminas, minerales y otros micronutrientes; además de un estilo de vida sedentario o con disminución de la actividad física debido a los cambios en los medios de transporte, a la creciente urbanización y a la naturaleza cada vez más sedentaria de muchos trabajos. Todo ello enmarcado en una sociedad que dificulta el llevar estilos



de vida saludables. El riesgo aumenta progresivamente a medida que lo hace el IMC [1].

Si bien los programas de actividad física ayudan a la reducción del peso corporal a corto plazo, es necesario incluir estos como parte del estilo de vida de los niños [10].

Por lo cual, en esta investigación trabajamos bajo el enfoque de la multidisciplinariedad al integrar tres disciplinas orientadas a la meta de disminuir los índices de sobrepeso y obesidad. Si bien cada profesional conserva su identidad y léxico particular buscamos articular y trabajar con fines compartidos, lo cual, al menos en este proyecto, se perfila como un camino hacia la transdisciplinariedad [10]. Cada profesión, analiza y comprende los fenómenos así como diseña e implementa intervenciones con las personas, ya sea para mejorar una práctica o cambiar una situación general. Puesto que la complejidad de los fenómenos actuales, como es el caso de sobrepeso y obesidad, limita la capacidad de que una sola disciplina pueda resolver las problemáticas en forma amplia [11].

Por lo tanto, el trabajo multidisciplinar expresado a través de la implementación de un proyecto integrado por diversos profesionales impacta positivamente en los hábitos de los niños, en nuestro caso alumnos de la escuela primaria José María Leyva de quinto y sexto año, al disminuir el IMC de los niños.

En función de la complejidad del fenómeno y en concordancia con Menéndez [12] sobre el estudio de los fenómenos sociales[1] no deben ser abordados sin considerar a los actores significativos y sus interrelaciones, y puesto que el fenómeno objeto de nuestro proyecto es complejo, y trabajar solo con los menores disminuiría la posibilidad de éxito, se trabajó en forma articulada con los docentes en relación a la importancia de realizar actividad física y el consumo saludable de alimentos.

Consideramos que las estrategias deben comprender la articulación interdisciplinar con el propósito de integrarse en una sola meta para la salud poblacional.

Por lo tanto, el objetivo fue evaluar un programa de intervención para disminuir los niveles de sobrepeso y obesidad en niños de quinto y sexto grado de la escuela primaria José María Leyva, en la colonia Sahuaro, ubicada al norte de la ciudad de Hermosillo, mediante la implementación de un programa educativo y actividad física.



METODOLOGÍA

El diseño de la investigación se inscribe en la línea de investigación acción, ya que se establecieron intervenciones a escolares mediante la implementación de un programa de intervención multidisciplinar, a la vez fue de carácter descriptivo, prospectivo longitudinal [13].

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones educativas de la escuela primaria José María Leyva, de diciembre del 2013 a junio del 2014, en tres etapas. En la primera etapa se integró el equipo de trabajo compuesto por una enfermera, una nutrióloga y un entrenador físico, y se contó con la aprobación de los directivos del plantel educativo; asimismo, se solicitó el consentimiento de los padres para que sus hijos participaran en el programa [14], la segunda etapa comprendió de enero a mayo de 2014. Durante ésta, se llevaron a cabo intervenciones educativas y de actividad física con los escolares, programándose una sesión semanal. La enfermera llevó a cabo 10 sesiones, la nutrióloga seis sesiones y el entrenador deportivo cuatro, en aula y 10 de actividad física. Durante las sesiones educativas se expusieron aspectos relacionados con funcionamiento del cuerpo humano, plato del buen comer, obesidad y sobrepeso, así como temas de actividad física. Todas las sesiones tuvieron una duración entre una y dos horas. La tercera etapa consistió en la presentación de los resultados ante las autoridades de la institución educativa.

La población estuvo integrada por alumnos de quinto y sexto año, de estos había tres grupos de sexto grado y dos de quinto año, en total participaron 164 alumnos, los cuales correspondieron al total de alumnos de los grados referidos; por lo cual se integró un grupo para el análisis general de la información.

1 El fenómeno del sobrepeso obesidad en este programa se consideró desde una perspectiva social, más allá del evento meramente biológico, en este sentido, salvo en casos de problemas biológicos de los sujetos, el fenómeno se construye en base a ciertas características socio culturales, como son los hábitos alimenticios, que para nuestra región prevalece el alto consumo de carnes y carbohidratos.



Se construyó una base de datos en el programa IBM SPSS V. 20, donde se capturaron datos sociodemográficos como edad, sexo, grupo escolar y somatometría (peso, talla, IMC).

Al inicio de la intervención se indagaron aspectos generales sociodemográficos de los alumnos, a la vez se midió el peso, talla e IMC de cada alumno. Estos últimos datos fueron revalorados y contrastados al final del programa.

La medición de las variables peso y talla fueron llevadas a cabo en las instalaciones en cada aula en donde tomaban clases los alumnos. Para medir el peso corporal se consideró lo establecido en la NOM-031-SSA2-1999, para la atención a la salud del niño; se retiró la totalidad de objetos que poseía el niño así como sus zapatos más no su ropa (pantalón en el caso de los niño y vestido en las niñas); la talla fue medida colocando al niño en posición recta de espalda al estadiómetro con las rodillas estiradas, espalda recta y la vista al frente de la enfermera, por lo que la lectura se registró frente a la escala. El peso corporal se registró en kilogramos y la talla en centímetros [15].

Para ello se utilizó una báscula comercial y estadiómetro marca BAME para 160 kilogramos, proporcionada por el Centro de Salud Urbano Sahuaro de la ciudad de Hermosillo. Todas las mediciones las realizó la enfermera, quien contaba con capacitación para realizar estas actividades.

Los datos recolectados fueron analizados mediante estadística descriptiva (media, mediana); y para probar si existió diferencias entre el IMC al inicio del programa y al final del mismo, se estableció la prueba de Wilcoxon y la prueba de U de Mann-Whitney para determinar diferencias entre el IMC por sexo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la caracterización de la población de los escolares, poco más de la mitad de ellos fueron varones (56.1%), esto coincide con el cambio en la población que se presenta en nuestro estado, que de acuerdo a INEGI [16] hay 28 172 niños y 26 617 niñas (Tabla 1).

Tabla 1. Sexo de los participantes.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido
Masculino	92.0	56.1	56.1
Femenino	72.0	43.9	43.9
Total	**164.0**	**100.0**	**100.0**

Fuente: Base de Datos Generales

En relación al grupo escolar, la distribución de alumnos por grado académico fue similar entre ellos con un rango de 30 a 36 alumnos por salón de clase (Tabla 2).

Tabla 2. Alumnos por grado escolar.

	Alumnos	Porcentaje
Quinto A	36	22
Quinto B	36	22
Sexto A	30	18.3
Sexto B	32	19
Sexto C	30	18
Total	**164**	**100**

Fuente: Base de Datos Generales n: 164

Para dilucidar las diferencias del efecto de la intervención en el peso corporal, se calcularon parámetros descriptivos en las variables peso inicial, peso final e IMC inicial y final. Se encontró que hubo una disminución de la media de peso corporal en los alumnos (-1.2 kilogramos) y por ende el IMC (-0.53). Consideramos que dicha disminución fue producto de la implementación del programa en el grupo de niños que participaron en el mismo, lo que es coincidente con los resultados obtenidos en otros estudios [17-18], en donde después de llevar a cabo programas de intervención, apreciaron que hubo una disminución del peso en su población de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Peso e IMC inicial y final.

	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	IMC inicial	IMC final
Media	42.1585	40.9512	19.2579	18.7200
Mínimo	21.0000	20.0000	12.1000	12.1000
Máximo	89.0000	80.0000	31.9000	30.1000

Fuente: Base de Datos Generales n: 164

Para establecer si esta disminución de IMC fue significativa, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, ante lo cual encontramos diferencias estadísticamente significativas en el IMC al inicio y al final del proyecto (*p*: .000). Probablemente esta situación ocurre debido a las condiciones de vida de los niños, mediadas por el capital sociocultural de la familia, tales como nivel educativo familiar, ingreso económico, y hábitos y costumbre familiares, entre otros. Aspectos que deben ser considerados como parte integral de los programas dirigidos a la disminución de peso en la población. Los resultados anteriores no coinciden con lo reportado por Bernal *et al.* [19] quienes valoraron el efecto de la intervención educativa en madres e hijos y su efecto sobre el peso de estos últimos, si bien se incrementó el nivel de conocimientos no hubo impacto sobre el peso de los niños. Lo anterior sugiere la complementación de aspectos educativos, físicos y la integración en los programas de la familia del niño.

Con el propósito de establecer si se comportaron de forma similar los grupos de niños y niñas, se estableció la prueba U de Mann-Whitney, no encontrando diferencias estadísticamente significativas en el IMC final entre niños y niñas (*p*: .985).

El cambio que hubo en el IMC (que implicó una disminución de peso corporal) puede impactar de forma positiva en la vida de los niños y sus familias, lo que le hace valioso para las particularidades de las familias.

Podemos observar que en el grupo de los varones hubo una tendencia de mayor incremento del IMC en comparación con las niñas (Figura 1).

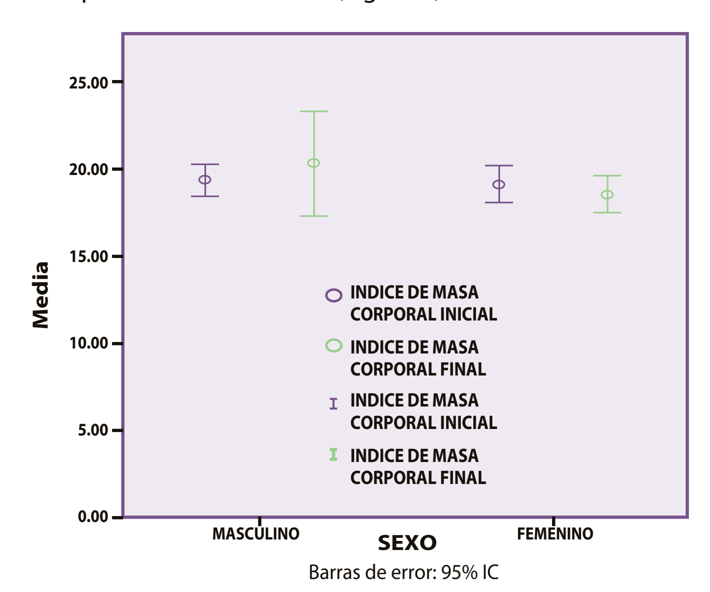


Figura 1. IMC inicial y final por sexo.

Además los varones presentaron mayor variabilidad en los resultados entre el IMC inicial y final que las mujeres. Esto representa que el comportamiento de los varones, en relación al de las mujeres, ante el programa es diferenciado; probablemente debido a que la construcción social de identidad femenina provoca que el proceder grupal sea de mayor pasividad y regularidad, en contraste con los varones, esto es, la gama de actividades físicas son más amplias para ellos; por lo que las niñas aprenden e incorporan pautas de comportamiento acordes con el género femenino [20].

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio podemos concluir que el programa de intervención logró disminuir el peso corporal de los escolares. La implementación de programas multidisciplinarios en la atención contra la obesidad conlleva a la disminución de sobrepeso y obesidad y, por ende, la disminución de factores de riesgo para la salud.

Sin embargo, es necesario focalizar las acciones de prevención en función de las diferencias por sexo, ya que nuestros

resultados nos muestran una tendencia de incremento en los varones y decremento en las niñas, siendo además fundamental involucrar a los integrantes de la familia.

RECOMENDACIONES Y LIMITACIÓNES

A la luz de los resultados consideramos que este trabajo debe replicarse en otros escenarios educativos e incluir como una variable de estudio el ambiente en donde se desarrolla la vida de los escolares.

Debido a que no se retiró la vestimenta del niño por las condiciones donde se llevaron a cabo las medidas antropométricas, se sugiere que en estudios posteriores se realice el registró del peso corporal sin ropa o ropa ligera, para lograr mayor precisión en las medidas.

BIBLIOGRAFÍA

1) Organización Mundial de la Salud, "Obesidad y sobrepeso", [en línea]. Available: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/. [Último acceso: 2014).
2) F. Guerra, L. R. Valdez, R. M. Aldrete y Z. M. López, "Antecedentes históricos sociales de la obesidad en México", *Antecedentes Investigación en Salud*, vol. 8, no. 2, pp. 91-94, 2006.
3) H. H. Herrera, L.L. Nájera, V.U. Pavón, P.A. Hernández, A. A. Aquino y C. Hernández, "Relación entre la obesidad con enfermedades crónico degenerativas en habitantes de una población rural",. RESPYN. [en línea]. Available:http:www.respyn.uanl.mx/especiales/2010/ee-10-2010/documentos/.../48.pdf. [Último acceso, 2014].
4) G. J. Morales, "Obesidad, Un enfoque multidisciplinario. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo", [en línea]. Available: http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4823/libro_de_obesidad.pdf.
5) Federación Mexicana de Diabetes, "Diabetes en Números. *Diabetes en México",* [En línea]. Available: http://www.fmdiabetes.org/fmd/pag/diabetes_numeros.php.
6) Secretaria de Salud, "Alta prevalencia de obesidad y obesidad abdominal en niños escolares entre 6 y 12 años de edad", *Boletín Epidemiológico.* vol. 9, no. 3, pp. 1-3, 2013.
7) J. P. Gutiérrez, J. Rivera, T. Shamah, C. Oropeza y Á. M. Hernández, "Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados nacionales", [En línea]. Available:http://ensanut.insp.mx/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf. [último acceso, 2014].
8) Secretaria de Salud, "Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria Estrategia contra el sobrepeso y la obesidad", [En línea]. Available:http://www.censia.salud.gob.mx/descargas/infancia/2010/2.9._Estrategia_Salud_Alim.pdf. [Último acceso, 2010].
9) M. Macías, S. Gordillo y R. Camacho, "Hábitos alimentarios de niños en edad escolar y el papel de la educación para la salud", *Revista Chilena de nutrición*, vol. 39, no 3, pp. 40-43. 2012.
10) C. Espinoza, R. Mora, V. M. Salas, V. M, "Saberes y trayectorias de atención a la salud de poblaciones vulneradas de México: un abordaje interdisciplinario", *Saúde Soc. São Paulo*, vol. 22, no.2, pp. 590-602. 2013.
11) S. S. Muñoz, "La Educación Física escolar ante el problema de la obesidad y el sobrepeso", *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, vol. 5, no 19, pp. 179-199. 2005.
12) E. Menéndez, "De sujetos, saberes y estructuras. Introducción al enfoque relacional en el estudio de la salud colectiva", Buenos Aires: Lugar Editorial. 2009.
13) R. Hernández, C. C. Fernández y L. P. y Baptista, "Metodología de la investigación",. 5ta Edición. México: Ed. McGraw-Hill. 2010.
14) Secretaria de Salud, "Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación Para la Salud". [En línea]. Available: http://www.hgm.salud.gob.mx/descargas/pdf/dirgral/marco_juridico/reglamentos/regla_05.pdf. 1996
15) Secretaria de Salud, "Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA2-1999, Para la atención a la salud del niño", [En línea]. http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/031ssa29.html. [Último acceso, 2014]
16) INEGI, "¿Cuántos son como tú?", [En línea]. Available:http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/poblacion/comotu.aspx?tema=me&e=26. [Último acceso, 2014].
17) U. Alvirde-García, A. Rodríguez-Guerrero, S. Henao-Morán, F. Gómez-Pérez, y C. Aguilar-Salinas, "Resultados de un programa comunitario de intervención en el estilo de vida en niños", *Salud Pública de México*, vol. 55, S3, pp. S406-S414. 2013.
18) F. Vio, H. Zacarías, L. Lera, M.C. Benavides y A. M. Gutiérrez, "Prevención de la obesidad en escuelas básicas de Peñalolén: componente alimentación y nutrición", *Rev. Chil. Nutr*. vol. 38, no 3, pp. 268-276. 2011.
19) B. M. Bernal, G. G. Pónce, S. S. Sotomayor y M. B. Carmona, "Impacto de una intervención educativa en escolares y madres de familia para la disminución de sobrepeso", *Enf neurolo (Mex)*, vol. 11, no 2, pp. 63-76. 2010.
20) L. Kogan, "Género-cuerpo-sexo: apuntes para una sociología del cuerpo", *Debates en sociología,* vol. 18, pp. 35-57. 1993.





SATISFACCIÓN DE LA MUJER CON LOS SERVICIOS OBSTÉTRICOS QUIRÚRGICOS

MÓNICA GABRIELA GARCÍA VALDEZ*, SOFÍA GUADALUPE MEDINA ORTIZ, MARÍA ALEJANDRA FAVELA OCAÑO, YESENIA ACUÑA RUIZ, FRANCISCO ANDRÉS CUÉN TÁNORI

RESUMEN

El medir la satisfacción de la mujer con los servicios obstétricos quirúrgicos recibidos, representa un indicador importante para valorar la calidad de los servicios de salud de atención obstétrica. El presente estudio considera cinco dimensiones: organización, trato, competencia profesional, información e infraestructura. El objetivo del estudio fue describir la satisfacción con los servicios obstétricos quirúrgicos de las mujeres intervenidas de cesárea y la relación con la escolaridad. El diseño del estudio fue descriptivo correlacional, el muestreo fue probabilístico sistemático, la muestra se estimó considerando una media de satisfacción de 84.1, una significancia de .05, desviación estándar de 15, en una muestra de 144 participantes. Para el análisis se obtuvo estadística descriptiva como: medidas de tendencia central, frecuencias y porcentaje; y se utilizaron pruebas paramétricas de Correlación de Spearman. Los resultados permiten describir la satisfacción de las mujeres con los servicios obstétricos quirúrgicos identificando en forma primordial el trato recibido y la infraestructura; y en menor importancia la competencia profesional y la información que se proporciona durante la estancia. Además de una correlación no significativa de la variable escolaridad y satisfacción de la mujer.

Palabras clave: Satisfacción de la mujer, servicios obstétricos quirúrgicos, organización, trato, competencia profesional, información, infraestructura.

ABSTRACT

The measured satisfaction of women with obstetric surgical services is important for evaluating quality of health services for obstetric care indicator. This study considers five-dimensional organization: treatment, professional competence, information and infrastructure. The objective of the study was to describe the satisfaction with surgical obstetric services intervened cesarean women and the relationship with their scholarity. The study design was descriptive correlational, probabilistic sampling was systematic, the sample was estimated considering an average satisfaction of 84.1, a significance of .05, standard deviation of 15, in a sample of 144 participants. For statistical analysis, descriptive statistics was obtained as measures of central tendency, frequencies and percentages; parametric Spearman correlation test was used. The results allow us to describe the satisfaction of women with obstetric surgical services in primary form, identifying their treatment and infrastructure, and minor professional competence and information provided during the stay. In addition, there is not significant correlation of the scholarity variable withthe satisfaction of women.

Keywords: *Women satisfaction, surgical obstetric services, organization, treatment, professional competence, information, infrastructure.*

M.C.E. MÓNICA GABRIELA GARCÍA VALDEZ
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: monicagar73@hotmail.com
M.E.SOFÍA GUADALUPE MEDINA ORTIZ
Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Nuevo León
Correo:smedina@hsj.com.mx
M.C.E.MARÍA ALEJANDRA FAVELA OCAÑO
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: alejandra-favela2010@hotmail.com

M.C.E. YESENIA ACUÑA RUIZ
Departamento de
Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: yesiacuna1@gmail.com
M.C.E.FRANCISCO ANDRÉS CUÉN TÁNORI
Departamento de
Enfermería, Universidad de Sonora
Correo:franciscocuen@enfermeria.uson.mx

*Autor para correspondencia: M.C.E. Mónica G. García Valdez
Correo electrónico: monicagar73@hotmail.com
Recibido:
Aceptado:
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

La satisfacción del usuario es un componente en la calidad de la atención y es parte de la eficacia de los servicios de salud, además proporciona información sobre el éxito del proveedor en alcanzar los valores y expectativas del paciente en aspectos en los que en última instancia, es árbitro definitivo. Por esto, es importante brindarle al paciente una buena atención afectiva y demostrar preocupación por sus problemas personales y sociales, además de ocuparse de sus problemas de salud [1]

Desde hace algunos años, el estudio de la satisfacción de los usuarios y de sus expectativas es considerado uno de los métodos de evaluación de la calidad y efectividad de los servicios de salud. La satisfacción del usuario es un tema complejo y múltiple; primero, porque reside en la percepción subjetiva del usuario; y segundo porque se basa en metodologías, técnicas e instrumentos de medición diversos y poco estandarizados [2].

La ENADID (Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica) 2009, revela que en el periodo 2004-2009, 45.1% de las mujeres de 15 a 49 años reportó al menos un embarazo; más de la mitad de las mujeres del país (53%) se encuentran en edad fértil (de 15 a 49 años), de las cuales dos de cada tres han estado alguna vez embarazadas. De los partos ocurridos entre 2004 y 2009, 56.8% fueron normales, 21.1% fueron por cesárea programada y 22% por cesárea de emergencia [3].

Según los registros de nacimientos, estos eventos quirúrgicos se incrementan en la frontera norte en estados como Sonora, donde estadísticamente los partos por cesárea se han acrecentado al pasar de un 12.4% en 1987 a 42.2% en 2011 [4]. Estos hechos demuestran que la demanda de atención de salud de la población femenina a los servicios obstétricos quirúrgicos es numerosa. A nivel nacional, el índice de partos por cesárea representó un 45.6%, según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2012, lo cual nos habla de la importancia de la calidad en la atención a esta comunidad [4] [5] [6].

La relación enfermera-paciente es un aspecto muy importante, pues una relación basada en la confianza constituye un requisito necesario para la buena marcha del proceso terapéutico. La satisfacción en la atención figura en el balance de beneficios y daños, que es el núcleo fundamental de la definición de la calidad. Por otra parte, la medición de la satisfacción es un valioso instrumento para la investigación en materia de salud, para la gerencia y la planificación, ya que ofrece información de los éxitos y fracasos de todo el sistema de salud, de las instituciones o de los individuos. Además, al ser experimentada por la población refuerza la confianza que esta siente hacia el sistema e incrementa el grado de cooperación y participación activa en acciones de salud que se pueden obtener en una comunidad [1].

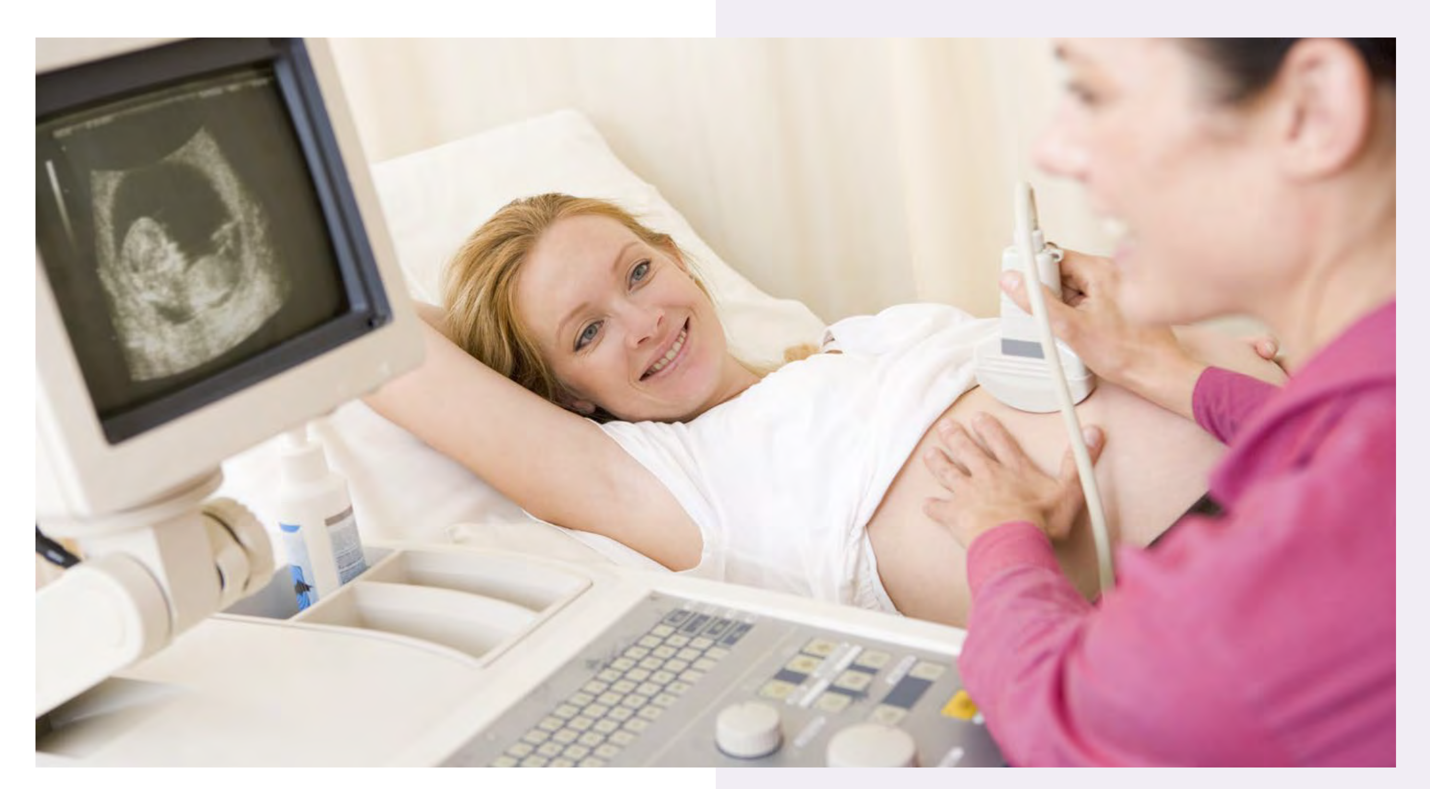
Cada vez es mayor la inconformidad de la población en los últimos años sobre el tema de calidad en la atención de la salud y la presión que ejerce la sociedad por tener servicios accesibles y de calidad que atienda sus necesidades [2]. En este sentido, se ha hecho relevante la búsqueda de la mejora en las instituciones de salud, ya que día a día los usuarios exigen ser tratados con calidad y ser cumplidas sus necesidades y expectativas sobre los servicios de salud [7].

Para mejorar la calidad en los servicios de atención a la salud, es necesario evaluarlos, por lo que se requiere de instrumentos adecuados. En la actualidad existen instrumentos múltiples para este objetivo, debido a que el concepto de calidad de la atención de los usuarios ha sido descrito desde diferentes perspectivas y con múltiples dimensiones [8]. Estas dimensiones han sido medidas directamente de acuerdo a la experiencia del paciente con el uso de los servicios [9].

Tovar, refiere en su estudio que la atención recibida de las mujeres y el aspecto interpersonal constituyen un factor de riesgo para el desarrollo de la insatisfacción [7]. Otros autores, describen en su estudio que la competencia técnica es una de las principales dimensiones de influencia en la determinación de la satisfacción global de las usuarias [10].

En un estudio realizado en Perú por Seclen y Darras, acerca de la relación del nivel educativo y la satisfacción, reportan mayor satisfacción en las personas de un nivel superior educacional [2]. Respecto al cumplimiento de expectativas, destacan las relacionadas a la tecnología de mayor complejidad utilizadas durante el proceso hospitalario. Además, Villanueva et al. mencionan que existe actualmente la tendencia a evaluar los resultados de las intervenciones como factor principal en la evaluación de la calidad de atención del paciente [8]. También refieren que a menor tiempo de espera mayores niveles de satisfacción, hecho que relacionan con las situaciones de angustia e incertidumbre que se generan en los pacientes cuando se prolonga la espera por el servicio.

Puentes, Gómez y Garrido señalan que las cesáreas se han incrementado de manera significativa en México, superando el porcentaje recomendado por la OMS (15%), lo que aumenta el riesgo materno, así como una repercusión en la calidad de la atención que se refleja en la satisfacción



[11]. Por este motivo, las políticas mundiales dan especial atención a los factores del cuidado materno que influyen en la satisfacción de la mujer. Se ha recomendado que los servicios obstétricos deben estar más centrados en la mujer, por lo cual se requiere dirigir la investigación al conocimiento de sus necesidades y experiencias en el uso de los servicios obstétricos [12] [13] [14].

Los estudios que se han llevado a cabo en relación a la satisfacción de la mujer con el hospital y el cuidado en el nacimiento se han dirigido a establecer la importancia de la interacción del familiar, alivio del dolor y a la participación en la toma de decisiones. Además, estos estudios han enfocado su atención al cuidado de la mujer en la atención prenatal, transparto y posparto, sin abordar a las usuarias quienes son intervenidas de cesárea [1]

Debido a que el índice de eventos quirúrgicos obstétricos se ha incrementado en México, también se ha aumentado el nivel de uso de los servicios obstétricos. Asimismo, los estudios relacionados a la satisfacción materna frecuentemente tienen un enfoque de evaluación general de los servicios obstétricos y no se han centrado en aspectos específicos de la mujer, por lo que el propósito de este estudio es describir la satisfacción de la mujer con los servicios obstétricos quirúrgicos.

MARCO CONCEPTUAL

El presente estudio se sustentó en las bases conceptuales de Saturno et al. [15] respecto a la satisfacción del paciente orientado al área obstétrica, la cual está determinada en dimensiones como: organización, trato, competencia profesional, información e infraestructura.

La satisfacción de la mujer la determinan como una medida de resultado de la interacción entre los profesionales de la salud y el paciente, quien demanda atención de salud y un ambiente del servicio con el propósito de satisfacer sus necesidades y expectativas. Además, refieren que las expectativas de la mujer se dan en cinco dimensiones: organización, trato, competencia profesional, información e infraestructura.

La organización la refieren como las características que afectan el funcionamiento del hospital, son propias de la institución y suceden con cierta estabilidad en el tiempo de manera independiente de las personas que participan en el servicio; contempla el tiempo de respuesta, continuidad del cuidado e identificación del personal.

El trato se refiere a algunos aspectos en la relación de la usuaria con los profesionales de la salud y contempla: amabilidad, apoyo emocional, trato discriminatorio, intimidad de los pacientes y respeto a la confiabilidad de la información.

La competencia profesional es la opinión que tiene el paciente acerca de las intervenciones técnicas de los profesionales, que le son propias y le da un valor si éstas son las más adecuadas para su problema de salud.

La información es la explicación que se da sobre el proceso de la atención o sobre el régimen y el funcionamiento del hospital, tanto a los pacientes como los acompañantes.

La infraestructura es el entorno físico y está integrado por las instalaciones, recursos materiales y mobiliario del hospital, y que son valorados por las condiciones en que se encuentran, así como las percepciones que se tienen del

servicio de la habitación.

En síntesis, los estudios relacionados con la satisfacción materna muestran altos porcentajes de satisfacción con la atención recibida; sin embargo, estos puntajes son inconsistentes al separarse por dimensiones. En este sentido, los aspectos con mayor satisfacción son el trato, atención, condiciones de la atención, alimentación que proporciona el hospital y respuestas rápidas al llamado. Mientras que los aspectos de menor satisfacción son “me escuchó atentamente”, “me atendió rápido” y las áreas de espera [2] [8] [16] [17] [18] [19].

OBJETIVO

Describir la satisfacción con los servicios obstétricos quirúrgicos de las mujeres intervenidas de cesárea y la relación con la escolaridad.

METODOLOGÍA

El estudio fue descriptivo correlacional. La población fue de 1,735 mujeres postoperadas de cesárea en un hospital público del estado de Sonora, en el período de un año. El muestreo fue probabilístico sistemático de uno en dos, con un inicio aleatorio. La muestra se estimó con una media de satisfacción de 84.1, una significancia de .05, desviación estándar de 15, se obtuvo una muestra de 144 participantes. Los criterios de inclusión consideraron: mujeres postoperadas de cesárea y con doce horas o más del posoperatorio. Se excluyeron a las mujeres que se les realizó cesárea de urgencia y cuando el producto fue referido al servicio de neonatología.

Como instrumentos se utilizaron la Cédula de Datos de Identificación de la Usuaria (CDIU), que incluye información como la edad en años cumplidos, ocupación y años de estudios cursados. Para medir la satisfacción de las mujeres con intervención cesárea y la atención hospitalaria recibida, se utilizó el cuestionario post-hospitalización (CPHN) de Saturno, Mas y Sainz, que está integrada por 40 reactivos conformadas en cinco dimensiones: organización, información, trato, competencia profesional e infraestructura o entorno físico. La confiabilidad del instrumento reportó un Alpha Cronbach por dimensiones, donde Organización obtuvo .60, Trato .87, Competencia profesional .89, Información .68 e infraestructura .25; con un Alpha de Cronbach global de .70 [15].

Se realizó un listado de las usuarias programadas para intervención cesárea, en los turnos matutino y vespertino. Posteriormente, se llevó a cabo la selección de las usuarias por medio de muestreo probabilístico y sistemático a quienes cumplían con los criterios de inclusión. El cuestionario se aplicó después de las doce horas del posoperatorio, para garantizar que las participantes tuvieran experiencia en relación con la atención proporcionada por la institución. Se solicitó su participación de manera voluntaria. Así como la firma de la carta de consentimiento informado de la usuaria y de su pareja, para posteriormente iniciar con la obtención de la información y aplicar el instrumento.

El presente estudio fue autorizado por la Comisión de Ética e Investigación de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Nuevo León. De igual forma se obtuvo la autorización por escrito del Comité de Ética e Investigación del Área de Adscripción. Además, se apegó a lo dispuesto en el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud [20].

ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la captura y análisis de la información se utilizó el programa estadístico SPSS (Stastistical Package for the Social Sciences), versión 17. Se obtuvo estadística descriptiva como son medidas de tendencia central, frecuencias y porcentajes. A partir de los resultados de la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, se decidió utilizar la prueba no paramétrica de correlación de Spearman (rs) para determinar relación de las variables satisfacción y escolaridad.

RESULTADOS

Estadística descriptiva de factores sociodemográficos

En la tabla 1, se observa que la media de edad de la población estudiada fue de 23.69 años. En relación a nivel de escolaridad se encontró que las usuarias en su mayoría presentaron en promedio 9 años de escolaridad, que en el sistema educativo mexicano, equivale a nivel secundaria. Al aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov no se encontró normalidad de los datos.

Tabla 1. Estadística descriptiva y prueba de Kolmogorov-Smirnov de las mujeres intervenidas de cesárea de un hospital público de Sonora.

Variable	$\bar{\chi}$	Mdn	DE	Valor		D	Valor de p
				Mínimo	Máximo		
Edad	23.69	21.50	5.56	19	39	2.35	.0001
Escolaridad	9.33	9	2.81	1	18	2.23	.0001

Fuente: CDIU n= 144

Respecto a los datos sociodemográficos, en la tabla 2 se observa que un mayor porcentaje se dedica al hogar. Asimismo, la mayor proporción vive en unión libre, luego las que están solteras y en tercer lugar las casadas.

Tabla 2. Datos sociodemográficos, ocupación y estado civil de las mujeres intervedidas de cesárea de un hospital público de Sonora.

	Rangos	F	%
Ocupación	Hogar	130	90.3
	Empleada	10	6.9
	Profesional	4	2.8
	Total	**144**	**100**
Estado Civil	Casada	37	25.7
	Soltera	38	26.4
	Divorciada	1	0.7
	Unión Libre	68	47.2
	Total	**144**	**100**

Fuente: CDIU n= 144

Se muestran las medias de satisfacción en la tabla 3 donde la media global fue de 81.5, mientras que la organización reportó una media elevada de (85.7), la infraestructura obtuvo resultados de (83.2), lo que muestra que la mayoría de las mujeres evalúan mejor la organización.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las subescalas de satisfacción y prueba Kolmogorov-Smirnov de las mujeres intervenidas de cesárea de un hospital público de Sonora.

Variable	$\bar{\bar{\chi}}$	Mdn	DE	Valor		D	Valor de p
				Mínimo	Máximo		
Organización	85.7	79.2	20.8	0.00	100	2.33	.0001
Trato	83.6	81.3	19.6	7.69	100	1.78	.0001
Competencia profesional	83.7	82.1	14.5	40.0	100	1.67	.003
Información	84.6	81.7	14.2	18.6	100	2.12	.007
Infraestructura	83.2	83.2	25.2	16.6	100	4.21	.0001
Satisfacción en general	81.5	81.8	13.0	32.4	99.7	1.41	.036

Fuente: CPHN n= 144

Para describir la satisfacción de la mujer con la intervención de cesárea y escolaridad de acuerdo a los resultados del coeficiente de correlación de Spearman, la tabla 4 muestra que no hay correlación significativa entre las variables antes mencionadas. Como hallazgos adicionales existe una correlación significativa entre la variable satisfacción y las dimensiones organización, información, trato, competencia profesional e infraestructura.



Tabla 4. Correlación de Spearman entre variable de estudio de las mujeres intervenidas de cesárea de un hospital público de Sonora.

	Edad	Escolaridad	Organización	Información	Trato	Competencia Profesional	Infraestructura	Satisfacción
Edad	1							
Escolaridad	26**	.1						
Organización	-.01	.01	1					
Información	.02	.13	.56**	1				
Trato	.09	.09	.37**	.43**	1			
Competencia Profesional	-.01	.10	.55**	.51**	.54**	1		
Infraestructura	-.07	-.12	.11	.08	.25	.17	1	
Satisfacción	-.01	.07	.70**	.69**	.70**	.71**	.55**	1

Fuente: CPHN *n*= 144

**p <.05 (dos colas)

DISCUSIÓN

Con lo que respecta a las variables sociodemográficas: la edad, años de estudio cursados, estado civil y ocupación de las usuarias, caracterizan a una población de mujeres jóvenes, con un nivel de estudios de 9 años que equivale a nivel secundaria, donde la mayoría de ellas se dedican al hogar y el estado civil que predomina son parejas que viven en unión libre, lo cual es coincidente con las características de la población del estudio de la ENADID (2009). Éstas características nos muestran un panorama de mujeres con mayor probabilidad de experimentar complicaciones durante el embarazo lo que resulta en la terminación del mismo en un evento quirúrgico [3].

Con relación a la satisfacción con los servicios obstétricos quirúrgicos, el estudio reporta puntuaciones satisfactorias, en promedio de 81.5 en general, similares al estudio realizado por Chong [16], leves diferencias por arriba de estos puntajes reportado en el estudio de García et al. [17]. Por otro lado, se observa diferencia en el estudio realizado por Seclen y Darras [2], donde el resultado reportado es menor en comparación al actual, lo cual puede ser explicado por las características propias de cada institución, referente a la carga de trabajo, planilla del personal asistencial y el uso de estos servicios médicos.

Respecto a la correlación no significativa del factor sociodemográfico escolaridad con la satisfacción global de la mujer y las subescalas, es contraria a la reportada en la investigación que se realizó en Perú por Seclen y Darras [2], en donde, según el resultado, los pacientes de niveles superiores de educación tienen tres veces mayores posibilidades de estar satisfechos con relación a los que no tienen estudio. Probablemente estos resultados pueden ser analizados al considerar las diferencias en los niveles de escolaridad que existen en la población de los estudios relacionados, quienes presentan un nivel de estudios superior de secundaria al reportado en el estudio actual. Se considera que usuarios de un nivel superior de educación tienen mayores expectativas y consecuentemente pueden ser más exigentes y críticos al evaluar la atención que reciben.

Respecto a las dimensiones, organización, información, trato, competencia profesional e infraestructura, presentan una relación significativa y puntuaciones satisfactorias, aunque las correlaciones significativas son mayores en la competencia profesional, organización y trato, lo que difiere con el estudio de Michón et al. [19] donde se obtuvieron altos niveles de satisfacción en todas las dimensiones.



CONCLUSIONES

Los resultados permiten describir la satisfacción de las mujeres con los servicios obstétricos quirúrgicos, identificándose en forma primordial el trato recibido y la infraestructura; y en menor importancia, la competencia profesional y la información que se proporciona durante la estancia.

Además, se identifica una correlación no significativa de la variable escolaridad y satisfacción de la mujer. Cabe destacar que identificar la satisfacción de la mujer con los servicios obstétricos quirúrgicos, sirve para incrementar la calidad de los cuidados de enfermería, lo que posibilita la mejora continua.

RECOMENDACIONES

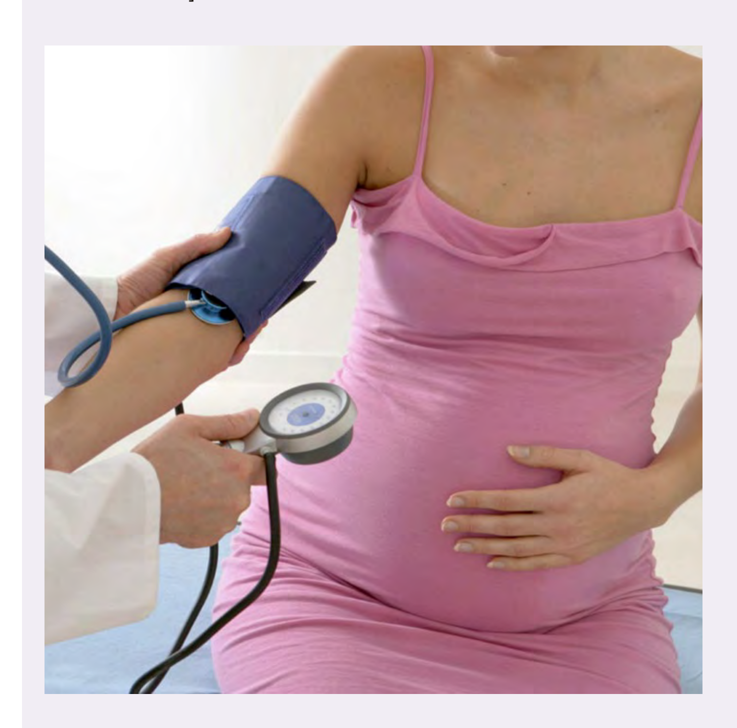
Se recomienda continuar explorando la temática de satisfacción con los servicios obstétricos quirúrgicos de las mujeres intervenidas de cesárea, ya que los estudios realizados hasta el momento se dirigen a los servicios obstétricos en forma general, lo cual limita conocer la opinión de esta población en cuanto a la calidad de los servicios señalados.

Medir la satisfacción de la mujer con instrumentos específicos de los servicios obstétricos quirúrgicos.

Considerar un tiempo mayor de doce horas para medir la satisfacción, a fin de asegurar que la usuaria tenga una percepción más amplia del servicio.

BIBLIOGRAFÍA

1) B. Perez de Alejo y P. Garcia, «Grado de satisfacción de la población con los servicios de enfermeria en un área de salud,» Revista Cubana de Enfermería, vol. 2, nº 21, 2005.
2) J. Seclén y C. Darras, «Satisfacción de usuarios de los servicios de salud: factores sociodemográficos y accesibilidad asociados.,» Anales de la Facultad de Medicina, vol. 2, nº 66, pp. 127-141, 2005.
3) Consejo Nacional de Población y Familia, «CONAPO,» 2009. [En línea]. Available: http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Bases_de_datos_ENADID_2009. [Último acceso: Junio 2013].
4) Instituto Nacional de Estadistica y Geografía, «Estadisticas a proposito del Día de la Madre,» Sonora, México, 2013.
5) Consejo Nacional de Población y Familia, «Calidad de la Atención Institucional de Embarazo, Parto y Puerperio en las áreas de Influencia del Proyecto (UNFRA/SESPA],» República Dominica, 2003.
6) Encuesta Nacional de Nutrición y Salud, 2012, «Evidencia para la política pública en salud,» Instituto Nacional de Salud Pública, Méxio D.F., 2013.
7) S. Tovar, Grado de satisfacción de las gestantes al recibir atención prenatal en el Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión del Colloa, Perú: Tesis Digitales Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2004, pp. 7-67.
8) A. Villanueva, P. Riega, P. Torres, C. Yabar y Ó. Alarco, «Cumplimientos de estándares de calidad en la atención del parto institucional y nivel de satisfacción de las usuarias,» Revista Peruana de Epidemiología, vol. 1, nº 11, pp. 1-9, 2002.
9) Gattinara, Ibacache y Puente, «Percepción de la Comunidad acerca de la Calidad de los Servicios de Salud Públicos en los distritos del norte,» Cuadernos Saude Pública, vol. 3, nº 11, pp. 425-438, 1995.
10) A. Romero, C. Mabel, A. Pineda, M. Angel, C. Martínez y Méndez, «Satisfacción de los usuarios con los servicios de hospitalización,» Revista Sitúa, vol. 9, nº 17, pp. 18-26, 2000.
[11] E. Puentes, E. Garrido y O. Gómez, «Las cesáreas en México: tendencias, niveles y factores asociados.,» Salud Pública, vol. 1, nº 46, pp. 16-22, 2004.
12) E. Teijlingen, V. Hundley, A. Rennie, W. Graham y A. Fitzmaurice, «Maternity Satisfaction Studies and their Limitations: "What Is, Must Still Be Best",» Birth: Issues in Perinatal Care,, vol. 2, nº 30, pp. 72-75, 2003.
13) M. L. Vivanco Montes, «Análisis de la satisfacción de las madres,» Reduca (Enfermería, Fisioterapia y Podología), vol. 2, nº 1, pp. 275-299, 2009.
14) M. Aguilar Cordero, I. Sáez Martín, M. Menor Rodríguez, N. Mur Villar y M. Expósito Ruiz, «Valoración del nivel de satisfacción en un grupo de mujeres de Granada sobre atención al parto, acompañamiento y duración de la lactancia,» Nutrición Hospitalaria, vol. 3, nº 28, pp. 920-926, 2013.
15) P. Saturno, A. Mas y A. Sainz, Nueva encuesta posthospitalización de INSALUD, Murcia: Universidad de Murcia, 2001.
16) Y. Chong, C. Amparo y M. Vazquez, «Calidad de la atención del parto y postparto en el Hospital Joaquin Paz Barrado,» Colombia Médica, pp. 2-7, 1991.
17) V. García, I. Portales y M. Almenares, «Atención de Enfermería a Gestantes Ingresadas en el Hogar Materno del Municipio de Comastres,» Revista Cubana de Enfermería, vol. 3, nº 21, 2005.
18) J. Govin, M. Torres y Regalado, «Calidad de la Atención,» Revistas Ciencias Médicas, vol. 1, nº 8, 2002.
19) A. Minchón Hernando, M. Díaz Jiménez, M. Cutilla Muñoz, R. De Porras Carrasco, G. Domínguez García y M. Vázquez de la Rosa, «Análisis de satisfacción del paciente quirúrgico en oftalmología.,» Enfermería Global, nº 23, pp. 298-309, 2011.
20) Secretaria de Salud, «Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Investigaciones para la Salud,» 1987. [En línea]. Available: http://www.salud.gob.mx. [Último acceso: Junio 2006].



FRECUENCIA DEL USO DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS EN USUARIOS DE GIMNASIOS COMERCIALES

ALEJANDRINA BAUTISTA JACOBO*, RUBÉN MEJÍA NÚÑEZ, GRACIELA HOYOS RUIZ

RESUMEN

Hoy en día, el uso de los suplementos alimenticios (SA) para mejorar el rendimiento deportivo y/o desarrollar músculo es una práctica muy común en personas que asisten a los gimnasios. La mayoría acude con amigos o entrenadores para su recomendación y no con una persona especializada. El propósito de este trabajo es estimar el porcentaje de uso de los SA. Para ello se aplicó un cuestionario a 129 mujeres y 132 hombres que regularmente acuden al gimnasio. Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 19.0. El 49.4% de los encuestados consumen suplementos alimenticios y su principal motivo es desarrollar músculo (51.9%). La proteína es el suplemento que más consumen (54.3%) y sólo el 20% ha acudido a un nutriólogo para su recomendación.

Palabras clave: suplemento alimenticio, gimnasio, acondicionamiento físico.

M.C. ALEJANDRINA BAUTISTA JACOBO
Correo: ale@mat.uson.mx
DR. RUBÉN MEJÍA NÚÑEZ
Correo: mejianunezr@gmail.com
M.C.E. GRACIELA HOYOS RUIZ.
Correo: ghoyos@guaymas.uson.mx
Depto. de Matemáticas, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: M.C. Alejandrina Bautista Jacobo
Correo electrónico: ale@mat.uson.mx
Recibido: 19 de Marzo del 2015
Aceptado: 4 de Mayo del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCION

Un suplemento alimenticio (SA) es un producto que se ingiere y que contiene ingredientes que complementan los componentes de la dieta [1]. De acuerdo a especialistas en nutrición, cuando una persona tiene una alimentación balanceada no es necesario el uso de suplementos, porque ya cuenta con todos los nutrientes necesarios para un adecuado desarrollo [2]. Sin embargo, cuando no se consume una variedad de alimentos nutritivos, algunos suplementos ayudan a conseguir una adecuada cantidad de nutrientes esenciales [3].

Actualmente los suplementos alimenticios, también llamados suplementos nutricionales, incluyen vitaminas, minerales, productos botánicos, aminoácidos y enzimas principalmente. Estos suplementos vienen en formas variadas: tabletas, cápsulas, polvo, líquidos y barras energéticas. Entre los suplementos populares están las vitaminas D y E, los minerales como el calcio y el hierro, algunas hierbas como la equinácea y el ajo, y especialmente productos como la glucosamina, los probióticos y los aceites de pescado [3]. Cualquiera que sea su tipo o presentación, los SA están dentro de la categoría de alimentos y no de los fármacos [1].

El consumo de los SA es más común en los atletas [4]. Su uso se debe a la creencia de que éstos les permite mejorar su rendimiento deportivo, aunque esta asociación no es muy aceptada por los científicos, ya que consideran que el rendimiento se puede deber a otros factores como la dieta o inclusive podría ser un efecto psicológico [5].

Por otro parte, hay estudios que demuestran que las personas que se someten a rutinas de ejercicios de resistencia, desarrollan mayor masa muscular cuando consumen proteínas del suero de la leche o whey proteins [6,7]. También los suplementos de creatina mejoran significativamente la fuerza, el desarrollo muscular y el desempeño en actividades físicas de alta intensidad [8]. En el caso de la cafeína, se ha demostrado que reduce el tiempo de reacción y retarda la fatiga en la práctica de deporte [9].

De cualquier manera, los SA no están exentos de riesgo pues muchos de ellos contienen ingredientes activos que causan intensos efectos biológicos en el cuerpo y esto podría traer, en algunas situaciones, daños o complicaciones para la salud [3,10]. Da Silva et al. [11] reportaron aumento en las cifras de tensión arterial sistólica relacionadas con el consumo de SA. También existen en la literatura decenas de casos de hepatitis tóxica relacionados con la ingesta de SA como Herbalife, productos que contienen hydroxycut, *Camellia sinensis*, ácido úsnico y altos contenidos de vitamina A [12,13].

De acuerdo a estudios previos hay una frecuencia alta de consumidores de SA entre personas que practican el acondicionamiento físico en gimnasios comerciales y la mayoría de ellos no acude a un especialista en busca de recomendación [14, 11, 15]. En un estudio de Sánchez, Miranda y Guerra [16] se reporta que un 61.6% de los consumidores de SA acuden a los amigos, a un familiar o al entrenador para obtener información sobre estos suplementos. Un porcentaje todavía mayor se reporta en Rodríguez et al. [14]. En México no se han realizado investigaciones al respecto y la escasez de información puede ser un factor que impida identificar una problemática en el uso de los SA.

Los objetivos de este trabajo son: 1) Estimar el porcentaje de consumo de los SA en una muestra no aleatoria de usuarios de gimnasios comerciales, 2) Estimar el porcentaje que acude a un especialista para su recomendación.

MÉTODO

Se llevó a cabo un estudio sobre una muestra no aleatoria de 261 usuarios de ambos géneros que acuden regularmente a gimnasios comerciales en Hermosillo, Sonora, México. Se consideró como criterio de inclusión que dichos usuarios tuvieran al menos un mes en acondicionamiento físico. Las personas encuestadas fueron informadas acerca de los objetivos de la encuesta.

Los gimnasios incluidos en el estudio son Metro Sport, KO Sport, Athletic Fitness, Top Fitness, Gold Gym, Forxe Gym, Sonora Fitness y Total Gym. A los usuarios se les aplicó una encuesta de auto llenado elaborada por los mismos investigadores. Antes de su aplicación se llevó a cabo un pilotaje en 40 usuarios de los gimnasios que fueron tomados en cuenta para este estudio. El objetivo fue evaluar la claridad de la preguntas, para ello, se solicitó a cada encuestado del pilotaje que anotaran dentro del cuestionario sus observaciones acerca de las preguntas planteadas.

Para el análisis estadístico de datos se utilizó el Paquete Estadísticos IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versión 19.0. Se obtuvieron tablas de frecuencias y porcentajes.

RESULTADOS

La muestra consta de 261 personas, de los cuales 129 correspondieron al género femenino y 132 al masculino. En cuanto a la ocupación de los usuarios encuestados, 134 (51.3%) eran estudiantes, 107 (41%) se encontraban



trabajando y el resto (7.7%) eran personas inactivas o amas de casa. El 63.6% mencionó tener una licenciatura, un 21.1% bachillerato, un 9.2% maestría y el resto fueron estudiantes de secundaria. El principal motivo por el cual asisten al gimnasio es para estar en buena forma física (Tabla 1).

Tabla 1. Motivos por los que asiste al gimnasio.

Motivos por los que asiste al gimnasio	Frecuencia	Porcentaje
Para estar en forma	123	47.1
Hacer ejercicio	54	20.7
Por salud	80	30.7
Otro motivo	4	1.5
Total	261	100.0

De los encuestados, 129 (49.4%) afirman que actualmente están usando algún SA. De estos consumidores, 40 (31.01%) son mujeres y 89 (68.99%) hombres (Tabla 2).

Tabla 2. Frecuencia de consumo de SA.

Actualmente consume SA	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Si	40	89	129 (49.43%)
No	89	43	132 (50.57%)
Total	129	132	261 (100.00%)

Las siguientes tablas presentan la distribución del consumo en relación con el género. En la tabla 3 se muestra que el principal motivo para tomar SA en los hombres fue desarrollar músculo (60.7%), mientras que en las mujeres la causa principal fue disminuir grasa corporal (32.5%), pero también desarrollar masa muscular (32.5%).

Tabla 3. Distribución porcentual por género del principal motivo por el cual consume los SA.

Principal motivo por el que lo consume	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Desarrollo muscular	13 (32.5%)	54 (60.7%)	67
Rendimiento deportivo	10 (25.0%)	23 (25.8%)	33
Disminuir grasa corporal	13 (32.5%)	10 (11.2%)	23
Salud	4 (10.0%)	2 (2.2%)	6
Total	40 (100.0%)	89 (100.0%)	129

La mitad de las mujeres tenía menos de un año consumiendo los SA, en cambio en los hombres el porcentaje fue 38.2% (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución porcentual por género del tiempo que lleva consumiendo los SA.

Tiempo consumiendo	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Menos de un año	20 (**50.0%**)	34 (**38.2**%)	54
De 1 a 3 años	13 (32.5%)	30 (33.7%)	43
De 4 a 5 años	2 (5.0%)	13 (14.6%)	15
Más de 5 años	5 (12.5%)	12 (13.5%)	17
Total	40 (100.0%)	89 (100.0%)	129

Tanto los hombres (53.9%) como las mujeres (55%) preferían las proteínas y la frecuencia de consumo en ambos género es de 4 a 6 días a la semana.

Tabla 5. Distribución porcentual por género del tipo de suplemento que más consume.

Tipo de suplemento que más consume	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Quemadores de grasa	12 (30.0%)	7 (7.9%)	19
Proteínas	22 (**55.0**%)	48 (**53.9%)**	70
Sustancias pre-entreno	1 (2.5%)	12 (13.5%)	13
Creatina	1 (2.5%)	1 (1.1%)	2
Multivitamínicos	0 (0.0%)	2 (2.2%)	2
Todos los anteriores	2 (5.0%)	18 (20.2%)	20
Otros	2 (5.0%)	1 (1.1%)	3
Total	40 (100.0%)	89 (100.0%)	129

La mayoría de hombres (66.3%) y mujeres (70%) han recibido la información para usar SA de personas no especialistas, lo que puede ser alarmante dado que también hay efectos colaterales. Aun cuando el 82.5% de las mujeres y el 84.3% de los hombres afirmaron haber tenido buenos resultados con el consumo de los suplementos.

Taba 6. Distribución porcentual por género de quien recomendó los suplementos.

Quién recomienda los SA	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Médico	4 (10.0%)	12 (13.5%)	16
Nutriólogo	8 (20.0%)	18 (20.2%)	26
No especialista	28 (**70.0%**)	59 (**66.3%**)	87
Total	40 (100.0%)	89 (100.0%)	129

Tabla 7. Distribución porcentual por género de la percepción de buenos resultados.

Se ha tenido buen resultado	Género		Total
	Femenino	Masculino	
Sí	33 (**82.5%**)	75 (**84.3%**)	108
No sé	7 (17.5%)	14 (15.7%)	21
Total	40 (100.0%)	89 (100.0%)	129

DISCUSIÓN

La literatura reporta algunas diferencias en la frecuencia del uso de suplementos alimenticios en personas que acuden a los gimnasios comerciales. Hay quienes reportan frecuencias bajas, como Bianco et al. [17] y El Khoury & Antoine-Jonville [18], de 30.1% y 36.3% respectivamente; frecuencias medias como Wachira [19] y Sánchez et al. [16] que reportan 43.3% y 56.1% respectivamente y frecuencias altas, como Morrison, Gizis y Shorter [20] que encontraron 84.7%. Las diferencias podrían tener relación con lo que los investigadores consideran que es un suplemento alimenticio o con la condición económica de los encuestados. Haciendo énfasis en las diferentes definiciones de SA, hay quien incluyó las bebidas isotónicas del tipo de Gatorade [21, 22] y quien enlistó ephedra, (un producto vegetal usado para bajar de peso) [20]. En nuestra muestra, el 49.4% menciona consumir un SA.

Los estudios que se han hecho hasta hoy coinciden en que los hombres consumen los SA con más frecuencia que las mujeres [21, 14]. En la tabla 2 podemos observar que en este estudio no fue la excepción, ya que el 68.99% de los consumidores son del género masculino.

De acuerdo al estudio de Sánchez et al. [16], quienes se ejercitan en los gimnasios y usan suplementos alimenticios, lo hacen con el objetivo principal de mejorar su aspecto físico. En la investigación de El Khoury & Antoine-Jonville [18] los sujetos dijeron que lo hacen principalmente para obtener mayor masa muscular. En nuestro trabajo también encontramos como principal motivo el de desarrollo muscular y en segundo lugar el de mejoramiento del rendimiento deportivo. El género femenino se tiene por igual (32.5%) el desarrollo muscular y la disminución de la grasa corporal. Este hallazgo es diferente a lo reportado por otros autores, donde las mujeres buscaban principalmente



mantener un buen estado de salud [18] y disminuir la grasa corporal [14].

En una investigación hecha por Morrison et al. [20] se reportó que los multivitamínicos con minerales fueron los SA más usados en gimnasios; sin embargo, todos los estudios hechos después han encontrado, en primer lugar de consumo, a los suplementos proteicos [21, 23, 14, 18]. Nuestro estudio también reveló que la mayoría de los consumidores de SA consumen las proteínas. En el caso de las mujeres, los investigadores han encontrado que prefieren consumir productos asociados con la buena salud, como las vitaminas y los minerales [18, 19]. No obstante, en esta muestra las mujeres consumen más los suplementos proteicos que otros SA.

El lugar donde los consumidores de esta muestra más acuden a comprar los SA es a las tiendas GNC (41.86%) y una minoría (20.16) los adquieren con amigos o a través de Internet. Esto en contradicción con otros estudios revisados, donde se ha reportado que las farmacias [19] y los gimnasios [16] son los sitios donde se adquieren con más frecuencia estos suplementos.

Sánchez et al. [16] encontraron que la mayoría de los encuestados que afirman haber estado usando SA, el 82.4%, dijo haber logrado los efectos deseados. Rodríguez et al. [14] encontraron una frecuencia parecida tanto en hombres (85.8%) como en mujeres (81.1%). En nuestro caso, el 84.3% de los hombres y el 82.5% de las mujeres que consumen SA afirman que perciben un buen logro de los SA.

CONCLUSIÓN

El porcentaje de consumidores de SA en este estudio fue de casi un 50%. Al igual que en otras investigaciones, se observó más consumidores hombres que mujeres y el principal motivo es desarrollar masa muscular. En esta muestra, a diferencia de lo encontrado en otras poblaciones, las mujeres usan más las proteínas que otros suplementos y cuando consumen los SA buscan tanto aumentar la masa muscular como la reducción de grasa corporal, antes que tener un buen estado de salud.

Todos los trabajos publicados acerca del tema que hemos reportado tienen como base poblaciones de hombres y mujeres. Creemos que, dado el número al parecer importante de mujeres que practican el acondicionamiento físico, se justifica investigar el tema enfocado a este género. Particularmente sería de interés conocer en las mujeres usuarias de gimnasios de esta región del país, si tener una mayor masa muscular es realmente más importante que mantener un buen estado de salud y cuáles son las motivaciones para ese fin.

Finalmente también sugerimos llevar a cabo estudios que permitan exhibir una relación entre consumir SA y la obtención de los resultados deseados.

BIBLIOGRAFÍA

1) U.S. Food and Drug Administration. Q&A on Dietary Supplements. Silver Spring, MD, United States, 2014, Autor. [Online]. Available: http://www.fda.gov/food/dietarysupplements/qadietarysupplements/
2) Mayo Clinic. Supplements: Nutrition in a pill? Rochester, MN, United States, 2014, Autor. [Online]. Available: http://www.mayoclinic.org/healthy-living/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/supplements/art-20044894
3) National Institute of Health. Dietary supplements: What you need to know. Bethesda, MD, United States, 2011, Autor. [Online]. Available: http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/DS_WhatYouNeedToKnow.aspx
4) Tian, H.H., Ong, W.S. & Tan, C.L. Nutritional Supplement use among University Athletes in Singapore. Singapore Medical Journal, 50(2), pp. 165-172, 2009. [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19296032



5) Australian Sport Commission. Supplements in Sport - Why are they so tempting? Camberra, Australia. 2014. [Online]. Available: http://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements/supplements_in_sport
6) Wilkinson, S.B., Tarnopolsky, M.A., MacDonald, M.J., MacDonald, J.R., Armstrong, D., & Phillips, S.M. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. American Journal of Clinical Nutrition, 85(4), pp. 1031-1040, 2007. [Online]. Available: http://ajcn.nutrition.org/content/85/4/1031.long
7) Josse, A.R., Tang, J.E., Tamapolsky, M.A. & Phillips, S.M. Body composition and strength changes in women with milk and resistance exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2010, 42(6). Doi: 10.1249/MSS.0b013e3181c854f6. [Online]. Available: http://www.ncbi.nml.gov/pubmed/19997019
8) Kreider, R.B. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. Molecular and Cellular Biochemistry, 244(1-2), pp. 89–94, 2003. [Online]. Available: http://www.researchgate.net/publication/10798699_Effects_of_creatine_supplementation_on_performance_and_training_adaptations/file/32bfe513e2c0581d2a.pdf
9) Santos, V.G., Santos, V.R., Felippe, L.J., Almeida, J.W., Bertuzzi, R., Kiss, M.A. & Lima-Silva, A.E. Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. Nutrients, 6(2), pp. 637-649, 2014. [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3942723/
10) Mayo Clinic. Nutrition-wise blog. Dietary supplements not without risks. Rochester, MN, United States, 2010, Autor. [Online]. Available: http://www.mayoclinic.org/healthy-living/nutrition-and-healthy-eating/expert-blog/dietary-supplements/bgp-20056179
11) Da Silva, W.V., de Andrade Gomes Silva, M.I., Tavares Toscano, L., Dantas de Oliveira, K.H., de Lacerda, L.M., Sérgio Silva, A. Supplementation prevalence and adverse effects in physical exercise practitioners. Nutrición Hospitalaria, 29(1), pp. 158-165, 2014. Doi: 10.3305/nh.2014.29.1.6853. [Online]. Available: http://www.aulamedica.es/gdcr/index.php/nh/article/download/6853/pdf_20
12) Timcheh-Hariri, A., Balali-Mood, M., Aryan, E., Sadeghi, M. & Riahi-Zanjani, B. Toxic hepatitis in a group of 20 male body-builders taking dietary supplements. Food and Chemical Toxicology, 50(10), pp. 3826-3832, 2012. [Online]. Available: http://www.researchgate.net/publication/229325181_Toxic_hepatitis_in_a_group_of_20_male_body-builders_taking_dietary_supplements
13) Stickel, F., Kessebohm, K., Weimann, R. & Seitz, H.K. Review of liver injury associated with dietary supplements. Liver International, 31(5), pp. 595-605, 2011. [Online]. Available: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1478-3231.2010.02439.x/full
14) Rodríguez, F., Crovetto, M., González, A., Morant, N. & Santibañez, F. Consumo de suplementos nutricionales en gimnasios, perfil del consumidor y características de su uso. Revista Chilena de Nutrición, 38(2), pp. 157-166, 2011. Doi: 10.4067/S0717-75182011000200006. [Online]. Available: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182011000200006&script=sci_arttext
15) Malik A. & Malik S. Prevalence of nutritional supplements in gyms. British Journal of Sport Medicine, 2010, 44(suppl1 i44). Doi:10.1136/bjsm.2010.078725.147. [Online]. Available: http://bjsm.bmj.com/content/44/Suppl_1/i44.3.abstract
16) Sánchez, A.J., Miranda, M.T. & Guerra, E. Estudio estadístico del consumo de suplementos nutricionales y dietéticos en gimnasios. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58(3), pp. 221-227, 2008. [Online]. Available: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222008000300002&script=sci_arttext
17) Bianco, A., Mammina, C., Paoli, A., Bellafiore, M., Battaglia, G.C., Caramazza, G., Palma, A. & Jemni, M. Protein supplementation in strength and conditioning adepts: knowledge, dietary behavior and practice in Palermo, Italy. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2011, 8(25). Doi: 10.1186/1550-2783-8-25. [Online]. Available: http://www.jissn.com/content/8/1/25
18) El Khoury, D. & Antoine-Jonville, S. Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms in Beirut City. Journal of Nutrition and Metabolism, 2012. Doi: 10.1155/2012/703490. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1155/2012/703490
19) Wachira, Susan W. Knowledge and usage of dietary supplements, and dietary patterns of gym users in Nairobi. Tesis de Magister, University of Nairobi, Kenia, 2011. [Online]. Available: http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/25939
20) Morrison, L.J., Gizis, F. & Shorter, B. Prevalent use of dietary supplements among people who exercise at a commercial gym. International Journal of Sport. 14(4), pp. 481-92, 2004. [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15467105
21) Goston, J.L. & Correia, M.I. Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors. Nutrition, 26(6), pp. 604-611, 2010. [Online]. Available: http://www.nutritionjrnl.com/article/S0899-9007(09)00293-7/abstract
22) Tsitsimpikou, C., Chrisostomou, N., Papalexis, O., Tsarouhas, K., Tsatsakis, A. & Jamurtas, A. The use of nutritional supplements among recreational athletes in Athens, Greece. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 21, pp. 377-384, 2011. [Online]. Available: http://sporttudomany.hu/Hirlevel/pdf/11/Nutritional_Supplements.pdf
23) Sánchez, A.J., Miranda, M.T., & Guerra, E. Estudio estadístico del consumo de suplementos proteicos en gimnasios. Nutrición Hospitalaria, 26(5), pp. 1168-1174, 2011. [Online]. Available: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112011000500037&script=sci_arttext



PLASMÓNICA

RAÚL GARCÍA LLAMAS*, SANDRA L. GASTÉLUM ACUÑA Y ALDO S. RAMÍREZ DUVERGER

RESUMEN

En este artículo son descritas las principales propiedades de los plasmones de superficie. También se presenta la excitación de los plasmones de superficie con la técnica experimental conocida como reflexión total atenuada.

Palabras clave: plasmónica, plasmones de superficie, ondas superficiales de plasma, películas delgadas.

DR. RAÚL GARCÍA LLAMAS
Departamento de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: ragal@cifus.uson.mx
DRA. SANDRA L. GASTÉLUM ACUÑA
Departamento de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: sandrag@cifus.uson.mx

DR. ALDO S. RAMÍREZ DUVERGER
Departamento de Física,
Universidad de Sonora
Correo: aldo@cifus.uson.mx

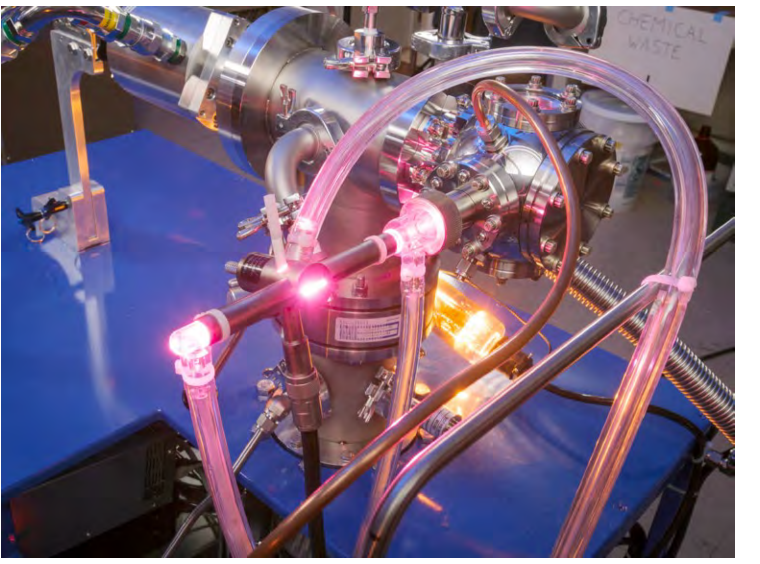
*Autor para correspondencia: Dr. Raúl García Llamas
Correo electrónico: ragal@cifus.uson.mx
Recibido: 15 de Marzo del 2015
Aceptado: 2 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

En física, la palabra plasma se reserva a una fase fluida de la materia conformada por partículas cargadas y se le conoce como la cuarta fase de la materia. En la naturaleza aparecen plasmas, como por ejemplo, la ionósfera, gases altamente ionizados y metales. Estos últimos contienen un mar de electrones libres y en su interior un fondo de iones metálicos fijos. De hecho, en la óptica de metales existe el término frecuencia de plasma w_p que es la frecuencia que determina su comportamiento metálico caracterizado por su alta reflexión para frecuencias mayores que la frecuencia de plasma y su comportamiento no metálico a frecuencias menores que ésta.

Existen en la actualidad tres tipos de modos u oscilaciones de plasma en metales: El plasmón de volumen (PV), que como su nombre lo indica, sucede en el volumen del metal; el plasmón de superficie (PS), que ocurre en la interfaz entre un metal y un medio no absorbente; y los plasmones de superficie localizados (PSL) en partículas metálicas.



La plasmónica es el nombre que se ha dado a un área emergente del desarrollo científico y se basa en la habilidad para controlar el flujo de luz en materiales metálicos utilizando plasmones. Para lograr tal control ha sido necesario fabricar dispositivos metálicos con dimensiones nano-métricas y la excitación de los llamados PS.

Este trabajo se centrará en enfatizar las propiedades más importantes de los PS, así como su excitación y detección experimental.

La historia de los plasmones se remonta hasta los albores del siglo XX. La primera observación de la excitación del PS fue hecha y reportada por Wood en 1902 [1]. Estas observaciones consistían en la ausencia de algún color proveniente de una fuente de luz blanca después de haber incidido sobre una superficie metálica en forma de rejilla de difracción. Esta ausencia de color fue nombrada anomalía de Wood, ya que no se conocía su relación con la excitación de los PS. Muchos trabajos fueron realizados para profundizar o entender desde el punto de vista teórico y experimental las anomalías de Wood [2-24].

Algunas contribuciones a este tema realizadas por el grupo de trabajo de fotónica de la Universidad de Sonora, se enfocan en la excitación de PS vía superficies rugosas aleatorias y por defectos [25-33].

Desde el punto de vista experimental, hemos construido un difractómetro de luz [31], el cual también funciona como medidor de la reflexión angular de luz, que actualmente cuenta con cinco líneas láser para estudiar la estructura de superficies rugosas y periódicas. Este método experimental, aunado con algún modelo teórico [21] aplicado a este problema, permite conocer las características de la superficie, como por ejemplo altura típica, periodo, forma del perfil, etc.

Aunque alejado de esta área, también hemos armado (con patente en trámite) un fluororeflectómetro [34], que entre otras cosas permite medir la reflexión espectral a un ángulo fijo, lo cual ha permitido obtener las relaciones de dispersión de los PS en películas metálicas [35].

En la parte teórica calculamos la relación de dispersión de los PS, mientras que en la parte experimental mostramos los resultados de la excitación de los PS en películas metálicas de plata, usando la técnica experimental conocida como reflexión total atenuada (RTA) en configuración Kretchmmann.

TEORÍA

Los PS son oscilaciones colectivas de los electrones en la superficie de un metal que forma una interfaz con un medio dieléctrico. El campo electromagnético asociado a estas oscilaciones tiene un carácter transversal magnético y es solución a las ecuaciones de Maxwell, esto significa que el campo magnético oscila en una línea que cae en el plano de la interfaz. La solución representa ondas que se propagan a lo largo de la interfaz entre un metal y un medio dieléctrico con un vector de onda asociado y decaen exponencialmente a medida que se alejan de ella.

Si suponemos que la interfaz, entre el metal y el dieléctrico, se encuentra en el plano $z = 0$, el campo magnético del PS se representa como

$$\vec{H}(y,z,t) = \begin{cases} A_1 \exp\left[i\left(qy - \sqrt{\mu_1\varepsilon_1\omega^2 - q^2}z\right) - i\omega t\right]\hat{\imath} & z < 0 \\ A_2 \exp\left[i\left(qy + \sqrt{\mu_2\varepsilon_2\omega^2 - q^2}z\right) - i\omega t\right]\hat{\imath} & z > 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde q representa la constante de propagación del PS, ω la frecuencia angular a la que oscila, ε_2 es la constante dieléctrica del metal, que depende de la frecuencia pero no se muestra su dependencia y A_2 su amplitud. La constante dieléctrica del medio es ε_1 y A_1 es la amplitud del PS en ese medio.

Mientras que de acuerdo a las ecuaciones de Maxwell, el campo eléctrico

$$\vec{E}(y,z,t)=\begin{cases}\frac{A_1}{\varepsilon_1\omega}\left(+\sqrt{\mu_1\varepsilon_1\omega^2-q^2}\hat{j}+q\hat{k}\right)exp\left[i\left(qy-\sqrt{\mu_1\varepsilon_1\omega^2-q^2}z\right)-i\omega t\right] & z<0\\ \frac{A_2}{\varepsilon_2\omega}\left(-\sqrt{\mu_2\varepsilon_2\omega^2-q^2}\hat{j}+q\hat{k}\right)exp\left[i\left(qy+\ \ \mu_2\varepsilon_2\omega^2-q^2z\right)-i\omega t\right] & z>0\end{cases} \quad (2)$$

Para que los campos presenten un comportamiento exponencialmente decreciente en la dirección perpendicular a la interfaz, el argumento de la raíz debe ser negativo.

Las condiciones en la frontera establecen que las componentes tangenciales de los campos son continuas en la interfaz, $z=0$ o sea

$$A_1 = A_2 \quad (3)$$

$$\frac{A_1}{\varepsilon_1\omega}\sqrt{\mu_1\varepsilon_1\omega^2-q^2}=\frac{A_2}{\varepsilon_2\omega}\sqrt{\mu_2\varepsilon_2\omega^2-q^2} \quad (4)$$

Resolviendo para q de (3) y (4) se obtiene la relación de dispersión del PS, ésta es

$$q=\frac{\omega}{c}\sqrt{\frac{\varepsilon_m(\omega)}{\varepsilon_m(\omega)+1}} \quad (5)$$

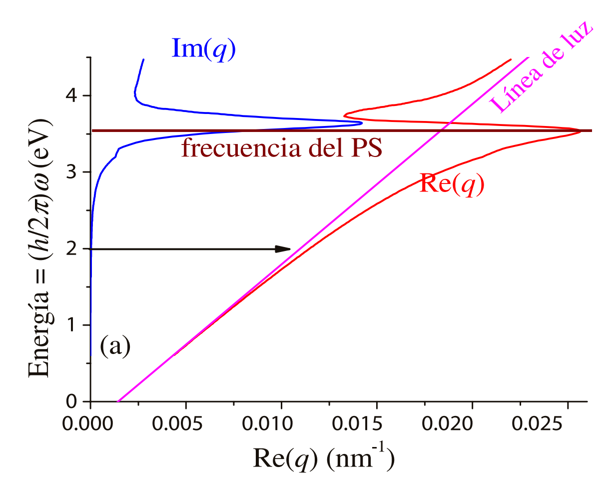
Donde hemos supuesto que los medios son no magnéticos $\mu_2=\mu_0=\mu_1$, el medio adyacente al metal es el vacío $\varepsilon_1=\varepsilon_0$ y $\varepsilon_m(\omega)=\varepsilon_2(\omega)/\varepsilon_0$ es la constante dieléctrica relativa del metal.

Ya que la constante dieléctrica del metal es compleja, entonces q es una función compleja, es decir, $q=Re(q)+iIm(q)$. La parte real está asociada con la relación de dispersión y la parte imaginaria con la longitud de propagación.

La longitud de propagación L es la distancia que el PS viaja en la dirección paralela a la superficie antes de que su amplitud decaiga en $1/$e, así

$$L=\frac{1}{Im(q)}=\frac{c}{\omega}Im\left(\sqrt{\frac{\varepsilon_m(\omega)+1}{\varepsilon_m(\omega)}}\right) \quad (5)$$

En la figura 1a se muestra la relación de dispersión, es decir, la frecuencia como función de la constante de propagación del PS (curva de color rojo). El metal es plata (datos tomados de ref. [33]). La recta de color magenta es la línea de luz en el vacío, es decir, la relación que guardan la frecuencia y el número de onda cuando una onda electromagnética se propaga en el vacío, también se muestra $(h/2\pi)\omega[Im(q)]$ (curva de color azul). Se puede observar que Re(q) siempre es mayor que la constante de propagación de la luz para cualquier frecuencia. Este hecho establece que la luz incidiendo directamente sobre una superficie metálica no puede excitar al PS, ya que no existe acoplamiento de momentos y se deben buscar mecanismos de acoplamiento. Existe una técnica experimental que permite la excitación de los PS y se le conoce como RTA. En la figura 1b se muestra la variación de la longitud de propagación como función de la frecuencia. Se puede observar que L varía 4 órdenes de magnitud, desde 100 nm en el ultravioleta (UV) hasta 1 mm en el cercano infrarrojo (NIR por sus siglas en Ingles). Así, en el NIR se tiene la mayor aplicabilidad de los PS para fabricar dispositivos fotónicos. Con ellos se podrá enviar información a través de circuitos plasmónicos.



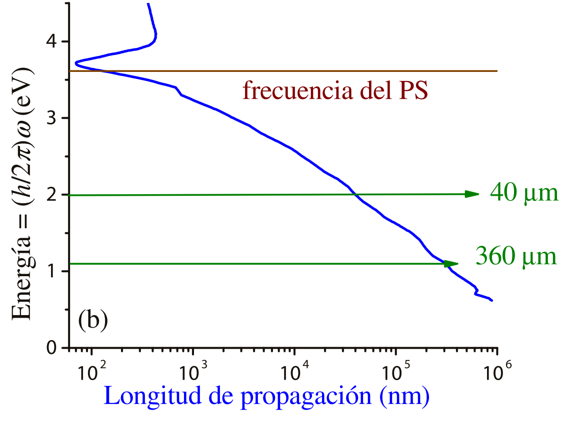


Figura 1. (a) La relación de dispersión del PS. Los datos del índice de refracción absorción de la plata fueron tomados de la ref. [33]. (b) La longitud de propagación del PS como función de la energía del PS.

En la siguiente sección describiremos una técnica experimental para excitar PS conocida como RTA.

EL REFLECTÓMETRO

El reflectómetro es un instrumento, no comercial, que se utiliza para medir la reflexión [10-11, 34], el cuál es mostrado esquemáticamente en la figura 2. Con el reflectómetro se pueden obtener medidas normalizadas, así como relativas de reflexión y/o transmisión de los sistemas analizados. Esto permite, con la ayuda de un modelo teórico, la caracterización óptica de los sistemas



estudiados o la simple visualización de los resultados de las medidas relativas.

Los ángulos de incidencia θ_i y de reflexión θ_r, medidos con respecto a la normal de la superficie de la muestra, son mostrados en el recuadro de la figura 2. El sistema permite hacer barridos en longitud de onda desde 300 nm hasta 850 nm y cambiar el ángulo de incidencia de 17 ° hasta 59 °, así como la polarización de luz incidente.

El programa del control y la óptica fueron desarrollados en el Laboratorio de Fotónica del Departamento de Investigación en Física de la Universidad de Sonora.

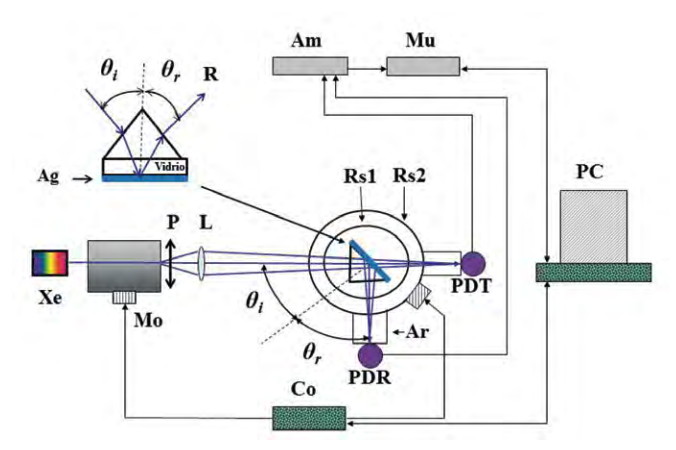


Figura 2. Esquema del Reflectómetro. Xe: Lámpara de arco de Xenón, Mo: Monocromador Motorizado, P: Polarizador, L: Lente, Ar: Brazo de 20 cm de largo, PDR y PDT: Fotodiodos agrandado en el UV, Rs1 y Rs2: Platinas rotatorias, Am: Amplificador, Mu: Multímetro Digital, Co: Interfaz electrónica, PC: Computadora personal. En el recuadro se muestra el esquema de la película de plata sobre un prisma de BK7 (LaK8), donde R representa el valor haz reflejado. Los términos BK7 o LaK8 representan nomenclatura usada en la industria del vidrio para denotar diferentes vidrios con valores distintos del índice de refracción.

MUESTRAS METÁLICAS

Las muestras fueron preparadas en una cámara de alto vacío (1x10^{-6} mbar) por evaporación térmica, sobre un substrato de vidrio. Se evaporaron películas de plata de 45 nm de espesor.

Los espesores de cada película fueron controlados usando monitoreo óptico y una balanza de cuarzo electrónica. El sistema a estudiar se completa uniendo la cara del substrato que no tiene muestra con aceite de inmersión a un prisma recto de vidrio BK7 o LaK8. El vidrio BK7 es un tipo de vidrio crown óptico de alta calidad al igual que el LaK8, los cuales son utilizado con frecuencia para la producción de componentes ópticos.

RESULTADOS

Todas las mediciones realizadas en este trabajo se hicieron utilizando la configuración RTA-Kretschmann para polarización p. El valor del índice de refracción del prisma es n_{prisma} =1.515 o 1.710 para BK7 o LaK8, respectivamente.

Medición de reflexión especular

La reflexión como función de la longitud de onda para polarización p a un ángulo fijo de 47.63 grados, se muestra en la figura 3a. En la gráfica se observa que la curva presenta un mínimo a un longitud de onda de λ_{ps} = 411.0 nm (indicada por la flecha rojo en la gráfica). Este mínimo índica la excitación del PS en la interfaz ya que se cumple la condición de acoplamiento de momento.

$$q = \frac{2\pi}{\lambda_{ps}} n_{prisma} \sin\theta_i \qquad (7)$$

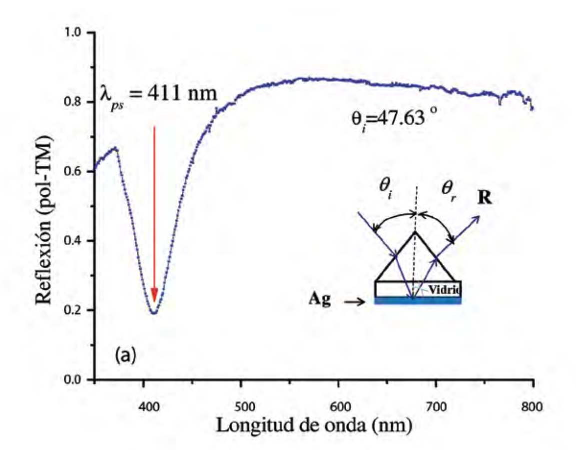
El lado derecho en la ec. (7) representa la componente paralela del vector de la onda incidente, q representa la constante de propagación del PS y n_{prisma} es el índice de refracción del prisma.

El ancho de la curva está relacionado con la longitud de propagación. Esta es una medida indirecta de este parámetro.

En la figura 3b se muestra la relación de dispersión experimental del PS. Para lograr esto se obtuvieron curvas como la de la figura 3a para varios ángulos de incidencia. Para obtener el eje-x en la figura 3b se usa la ec. (7), mientras que para obtener el eje-y se usa la siguiente relación,

$$E = \frac{h}{2\pi}\omega = \frac{1240\ eV * nm}{\lambda} \qquad (8)$$

Donde λ se proporciona en nm y el resultado es la energía en eV.



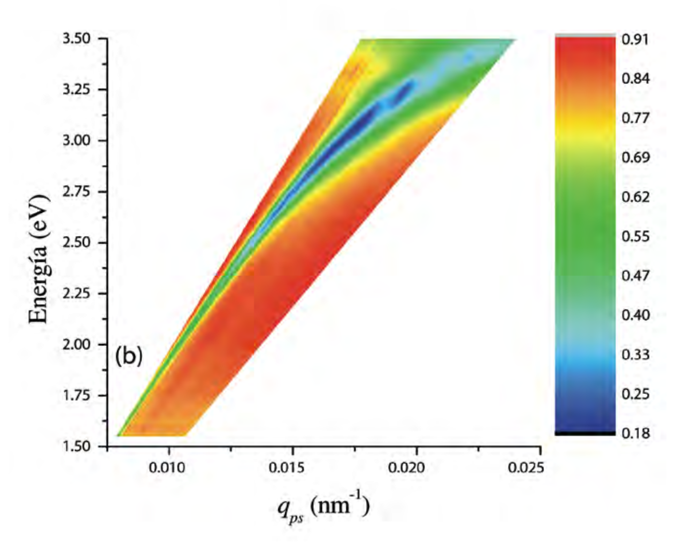
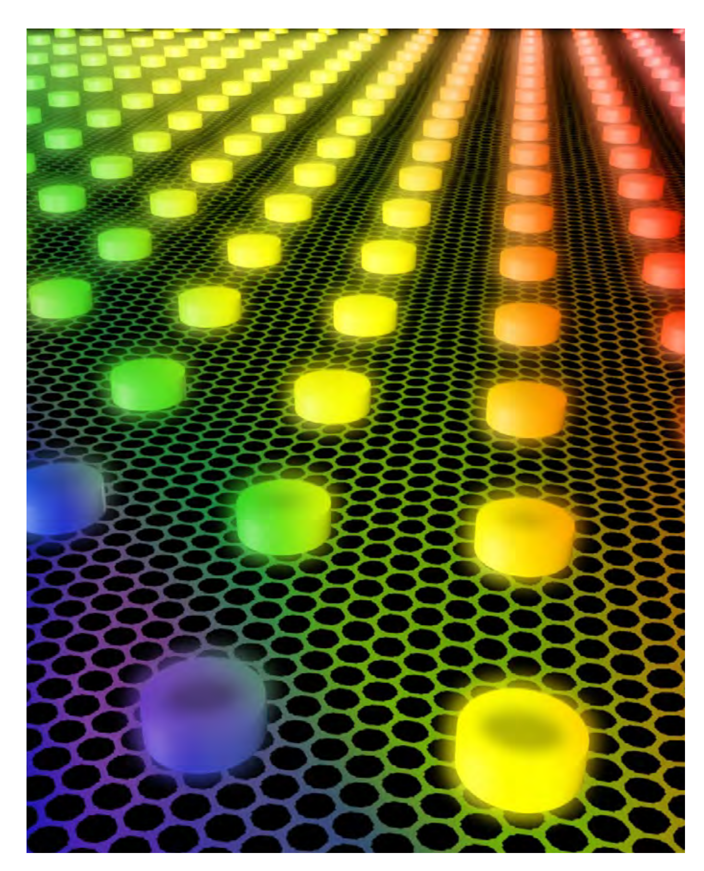


Figura 3. (a) Espectro de reflexión de una película de Ag medida a través de un prisma de BK7. El mínimo indica la excitación del PS. (b) La reflexión proyectada en el plano de energía y vector de onda. Se puede apreciar directamente la relación de dispersión del PS, como una banda de color azul marino.

En otro trabajo se mostrarán las características más importantes de los plasmones localizados en partículas metálicas.



CONCLUSIONES

En este trabajo se vertieron algunos aspectos importantes de la plasmónica, como son la relación de dispersión, longitud de propagación, longitud de decaimiento de los PS.

Se presentaron resultados obtenidos en el laboratorio de fotónica de la Universidad de Sonora y se describió someramente el dispositivo experimental para obtener dichos resultados. Se presentó la reflexión p-polarizada, a través de un prisma de BK7 proyectada en el plano E-q, de donde se puede inferir directamente la relación de dispersión experimental del PS.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONACYT por el proyecto de Cátedra para Jóvenes Investigadores 1893.

BIBLIOGRAFÍA

1) R. W. Wood, On a remarkable case of uneven distribution of light in a diffraction grating spectrum, Philos. Mag., vol. 4, pp. 396-402, 1902.
2) Lord Rayleigh, Note on the remarkable case of diffraction spectra described by Prof. Wood, Philos. Mag., vol. 14, pp. 60–65, 1907.
3) Lord Rayleigh, On the dynamical theory of gratings, Proc. R. Soc. Lond., vol. 79, pp. 399–416, 1907.
4) J. Strong, Effect of evaporated films on energy distribution in grating spectra, Phys. Rev., vol. 49, pp. 291–296, 1936.
5) U. Fano, The theory of anomalous diffraction gratings and of

quasi-stationary waves on metallic surfaces (Sommerfeld's waves), J. Opt. Soc. Am. vol. 31, pp. 213–222, 1941.
6) A. Hessel, and A.A. Oliner, A new theory of Wood's anomalies on optical gratings, Appl. Opt., vol. 4, pp. 1275–1297, 1965.
7) C.H. Palmer Jr., Parallel diffraction grating anomalies, J. Opt. Soc. Am., vol. 42, pp. 269–276, 1952.
8) C.H. Palmer Jr., Diffraction grating anomalies, II: coarse gratings, J. Opt. Soc. Am., vol. 46, pp. 50–53, 1956.
9) J.E. Stewart, and W.S. Gallaway, Diffraction anomalies in grating spectrophotometers, Appl. Opt., vol. 1, pp. 421–429, 1962.
10) R. H. Ritchie, E. T. Arakawa, J. J. Cowan, and R. N. Hamm, Surface-Plasmon Effect in Gratting Diffraction, Phys. Rev. Lett., vol. 21, pp. 1530-1533, 1968.
11) D. Rudolph, and G. Schmahl, Spektroscopische beugungsgitter hoher teilungsgenauigkeit erzeugt mit Hilfe von Laserlicht und photoresistschichten, Optik, vol. 30, pp. 475–487, 1970.
12) D. Maystre, Sur la diffraction d'une onde plane par un réseau métallique de conductivité finie, Opt. Commun., vol. 6, pp. 50–54, 1972.
13) D. Maystre, Sur la diffraction d'une onde plane électromagnétique par un réseau métallique, Opt. Commun., vol. 8, pp. 216–219, 1973.
14) R. Petit, Etude numérique de la diffraction par un réseau, C. R. Acad. Sci. Paris vol. 260, pp. 4454– 4457, 1965.
15) R. Petit, Contribution à l'étude de la diffraction par un réseau métallique, Rev. Opt., vol. 45, pp. 249– 276, 1966.
16) A. Wirgin, Considérations théoriques sur la diffraction par réflexion sur des surfaces, quasiment planes, applications à la diffraction par des réseaux, C. R. Acad. Sci. Paris, vol. 259, pp. 1486–1488, 1964.
17) A. Wirgin, Théorie électromagnétique de la diffraction d'une onde par une surface quasiment plane, Thèse d'Etat, Université de Paris, France, 1967.
18) J. Pavageau, and J. Bousquet, Diffraction par un réseau conducteur nouvelle méthode de résolution, Opt. Acta, vol. 17, pp. 469–478, 1970.
19) R. Petit, D. Maystre, and M. Nevière, Practical applications of the electromagnetic theory of gratings, Space Optics, in Proceedings of the Ninth International Congress of Optics, vol. 2, pp. 667–681, 1974.
20) F. Toigo, A. Marvin, V. Celli, and N. R. Hill, Optical Properties of rough surfaces: General Theory and the small roughness limit, Phys. Rev. B, vol. 15, pp. 5618-5626, 1977.
21) R. García-Llamas, Scattering of electromagnetic plane waves from rough periodic multilayered films, J. Opt. Soc. Am. B, vol. 11, pp. 618-623, 1994.
22) J. A. Sánchez-Gil, and A. A. Maradudin, Surface-plasmon polariton scattering from a finite array of nanogrooves/ ridges: Efficient mirrors, Appl. Phys. Lett., vol. 86, pp. 2511061(1-3), 2005.
23) A. Y. Nikitin, F. López-Tejeira, and L. Martín-Moreno, Scattering of surface plasmon polaritons by one-dimensional inhomogeneities, Phys. Rev. Lett. vol. 105, pp. 035129(1-8), 2007.
24) A. Aubry, D. Y. Lei, S. A. Mayer and J. B. Pendry, Interaction between Plasmonic Nanoparticles revisited with transformation Optics, Phys. Rev. B. vol. 75, pp. 233901(1-4), 2010.
25) R. García-Llamas, and L. E. Regalado, Transmitted scattering light from a thin film with shallow random rough interfaces, Appl. Opt., vol. 35, pp. 5595-5599, 1996.
26) R. García-Llamas, and L. E. Regalado, Scattering of light from a thin metallic film with a shallow random rough interfaces between dissimilar media. I Theory, Opt. Commun., vol. 142, pp. 167-172, 1997.
27) R. García-Llamas, L.E. Regalado, and C. Amra, Scattering of light from a two layer system with a rough surface, J. Opt. Soc. Am. A, vol, 16, pp. 2713-2719, 1999.
28) R. García-Llamas, and C. Márquez Beltrán, Scattering of s-polarized electromagnetic planes waves from a film with a shallow random rough one dimensional surface on a perfect conductor, Appl. Opt., vol. 39, pp. 4698-4705, 2000.
29) A. S. Ramírez-Duverger, J. A. Gaspar-Armenta, and R. García-Llamas, Resonant Scattering of light from a glass/Ag/MgF_2/ air system with rough interfaces and supporting guided modes in attenuated total reflection, J. Opt. Soc. Am. A, vol. 20, pp. 1582-1588, 2003.
30) A. S. Ramírez-Duverger and R. García-Llamas, Light scattering from a multimode waveguide of planar metallic walls, Opt. Commun., vol. 227, pp. 227-235, 2003.
31) A. S. Ramírez-Duverger y R. García-Llamas, Diseño y construcción de un esparcímetro de luz, Rev. Mex. Fis., vol. 50, pp. 541-548, 2004.
32) J. Gaspar-Armenta, R. García-Llamas, and J. Durán-Favela, Electromagnetic near and far field interaction between surface Plasmon and defect in a thin metallic film, Phys. Rev. B, vol. 73, pp. 255412 (1-8), 2006.
33) E. D. Palik, Handbook of optical constant of solids I, Nueva York, Academic Press, 1985.
34) A. S. Ramírez-Duverger, R. García-Llamas, and R. Aceves, Review Flouroreflectometer for measuring the emission, excitation, reflection and transmission of materials doped with active ions, J. of. Lumin. vol. 136, pp 196-203, 2013.
35) A. S. Ramírez-Duverger y R. García-Llamas, Excitación de modos y relación de dispersión de un material metal-dieléctrico, Materiales Avanzados, no. 21, pp. 15-20, 2013.



DESDE LA ACADEMIA

PRESIÓN EN MEDIOS GRANULARES EN SILOS: EXPERIMENTOS PARA UN CURSO DE FLUIDOS

SAULO HERNÁNDEZ LÓPEZ, TADEO PEÑA MORENO, HERIBERTO ACUÑA CAMPA, FRANCISCO MONTES BARAJAS, LAURA L. YEOMANS REYNA*

RESUMEN

Se presentan las experiencias obtenidas en el análisis del comportamiento estático de un medio granular en un silo. Haciendo uso de un dispositivo experimental construido para tal fin, se explora el comportamiento de la presión ejercida sobre el fondo de un silo cuando sobre él descansa una columna de medio granular (maíz) sobrecargado y se compara con el de un líquido. Se utiliza el modelo teórico de Janssen para describir el comportamiento de la presión, obteniendo resultados satisfactorios. Este trabajo podrá servir de base en la elaboración de protocolos de prácticas para los laboratorios de los cursos de física clásica que se imparten en los programas de licenciatura en ciencias e ingeniería.

Palabras clave: Medio granular, modelo de Janssen, fluido, presión manométrica, prototipo experimental.

SAULO HERNÁNDEZ LÓPEZ
Correo: saulohdez@gmail.com
TADEO PEÑA MORENO
Correo: tadeo-moreno@hotmail.com
DR. HERIBERTO ACUÑA CAMPA
Correo: hacuna@correo.fisica.uson.mx
L. F. FRANCISCO MONTES BARAJAS
Correo: fmontes@correo.fisica.uson.mx
DRA. LAURA L. YEOMANS REYNA
Correo: lyeomans@correo.fisica.uson.mx
Departamento de Física, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Dra. Laura L. Yeomans Reyna
Correo electrónico: lyeomans@correo.fisica.uson.mx
Recibido:26 de Marzo del 2015
Aceptado: 5 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

En los cursos de física del eje de formación básica de las licenciaturas en ciencias e ingeniería, se incluye el estudio de la estática de fluidos, dentro de la cual la ecuación fundamental de la hidrostática juega el papel central [1]. Esta ecuación establece que la relación entre la presión de un líquido de densidad uniforme y la profundidad en el mismo es lineal. Este comportamiento y sus consecuencias se abordan experimentalmente en una serie de prácticas de laboratorio o de materiales didácticos.

Si bien es cierto que los líquidos, como el agua, son las sustancias más utilizadas a nivel industrial, los segundos en importancia lo conforman los materiales sólidos en forma granular. Como un ejemplo importante señalamos que el almacenamiento de granos para el consumo humano se realiza haciendo uso de silos especialmente construidos para tal fin [2].

Los medios granulares consisten en un conjunto de objetos macroscópicos que interaccionan entre sí mediante fuerzas de contacto. El tamaño de los granos que constituyen este tipo de materiales abarca desde milímetros hasta metros [3]. Así algunos ejemplos incluyen granos de maíz, arena, rocas, entre otros. Como lo señala Sperl [4], el interés de la comunidad científica por entender el comportamiento de los medios granulares tanto en sus propiedades estáticas como dinámicas ha crecido considerablemente a partir de las últimas décadas del siglo veinte [5-6].

A pesar de las similitudes que existen entre los líquidos y los medios granulares, encontramos que propiedades tan fundamentales y sencillas de cuantificar para un líquido, como la densidad, en el caso de los medios granulares medirlas se convierte realmente en un problema no trivial. El valor numérico de la densidad en el caso de medios granulares es fuertemente dependiente de la forma en la cual se colocan los granos en el recipiente que lo contiene, de la razón entre tamaño de grano y longitud característica del recipiente, de vibraciones presentes, entre otras.

Con el objetivo de abonar a la discusión sobre las similitudes y diferencias entre el comportamiento de un líquido y un medio granular en condiciones estáticas, en este artículo de docencia presentamos una metodología y prototipo experimental, así como un modelo teórico, que nos permite estudiar el comportamiento de la presión ejercida por un medio granular en el fondo de un silo cilíndrico con y sin carga sobre su superficie libre.

PROTOTIPO EXPERIMENTAL

En 1895 el Ingeniero alemán H. A. Janssen publicó resultados sobre la medición de la presión de granos de maíz en silos. Uno de sus principales resultados mostró la existencia de una presión de saturación, es decir, que a partir de una cierta altura de grano la presión en el fondo permanecía constante. Posteriormente Janssen elaboró un modelo para explicar este comportamiento [1].

En nuestro caso y con un objetivo fundamental de enseñanza dentro del curso de fluidos, se construyó un prototipo relativamente pequeño y versátil, que además considera una forma radicalmente distinta de medir la presión hidrostática en el fondo del silo. En lugar de utilizar una balanza en el fondo del recipiente para determinar la presión, se colocó un sistema de membrana y tubo piezométrico que nos permite determinar la presión ejercida por el medio granular sobre el fondo, midiendo alturas de agua en el tubo piezométrico.

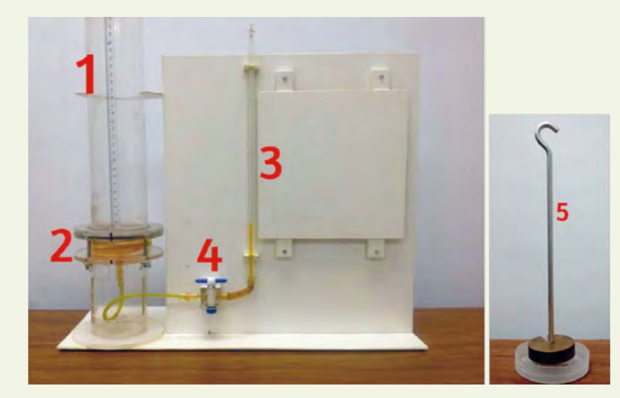


Figura 1. Prototipo experimental (izquierda) y sistema para "cargar" el medio granular (derecha).

En la fotografía de la figura 1 (izquierda) se muestra el dispositivo que consta de un recipiente cilíndrico (1) de acrílico transparente de 6.92 cm de diámetro interno y longitud de 30 cm. En el fondo del silo se ha colocado una membrana de latex distendida y sujeta a las paredes del silo (2). Bajo la membrana está dispuesta una cámara de 2.5 cm de altura que se encuentra completamente llena de líquido manométrico (agua coloreada). En la parte inferior y en el centro de ésta se coloca una manguera plástica transparente que a su vez se conecta a una llave de paso de vidrio y teflón (4) que controlará el flujo hacia un tubo piezométrico vertical y abierto a la atmósfera de 1/8" de diámetro interno, que descansa sobre una placa de acrílico vertical de 35 cm x 39 cm (3). Junto al tubo piezómetro se coloca una cinta de papel sobre la cual se marcan las posiciones del menisco del líquido en el tubo piezométrico, al mismo tiempo permite determinar los cambios en altura cuando se modifica la cantidad del grano en el silo o se agrega carga sobre la superficie del medio granular. Sobre el silo de acrílico se coloca una regla para medir la altura del medio granular. Este sistema descansa en una base, también de acrílico, de 18 cm x 49 cm.

Para el caso de los experimentos con medios granulares con carga se dispuso de un sistema como el que se ilustra en la figura 1. Como puede observarse consiste de un portapesas, adherido a una base (tapadera plástica), sobre el cual se pueden colocar diferentes masas. Es importante que el área de la base sea suficientemente grande para cubrir adecuadamente la superficie libre del medio granular.

Adicionalmente se utilizó una balanza digital (0.01g) para medir la masa del medio granular y un vernier

milimétrico para medir las alturas en el tubo piezométrico.

En nuestro caso utilizamos maíz palomero, por las características de densidad y tamaño del grano que hace factible la medición bastante adecuada de alturas a columnas pequeñas en nuestro prototipo.

PRESIÓN EN EL FONDO DEL SILO

Para determinar la presión en el fondo del silo, se implementó el siguiente protocolo experimental:

1. Con la llave de paso abierta, se procede a colocar la cinta de papel junto al tubo piezométrico y colocar la referencia que definirá el origen de las mediciones de longitud, sin medio granular. Se cierra la llave de paso.
2. Medir la masa (M_T) de una cantidad de grano y verterla cuidadosamente dentro del silo, tratando de lograr una distribución uniforme en el fondo del silo.
3. Abrir la llave de paso para permitir que el líquido manométrico fluya por el tubo piezométrico. Esperar el tiempo necesario para que se estabilice la altura.
4. Cerrar la llave de paso y proceder a colocar la referencia que indica la posición del menisco del líquido manométrico en el tubo piezométrico. Esta proporcionará el valor de la altura h′ de la columna del líquido manométrico que nos permitirá posteriormente determinar la presión hidrostática ejercida por el medio granular sobre el fondo del silo.
5. Haciendo uso del portacargas se coloca una pesa de masa definida y se determina la masa M_w (masa del portacargas + masa de la pesa) que es la carga total sobre la superficie del medio granular.
6. Se coloca cuidadosamente, sin tocar las paredes internas del silo, el portacargas sobre la superficie libre del medio granular.
7. Se abre la llave de paso para permitir que fluya de nuevo el líquido manométrico según las condiciones del silo cargado y esperar el tiempo suficiente para que se estabilice su altura en el tubo piezométrico. Cerrar la llave de paso y proceder a colocar sobre la cinta de papel la marca que indica la posición del menisco. Esta será la medición que nos permitirá calcular la presión hidrostática en el fondo del silo con el medio granular y la carga seleccionada.
8. Si se coloca otra carga sobre el medio granular, repetir los pasos 5-7.

Antes de pasar a mostrar los resultados obtenidos, es conveniente señalar que es experimentalmente adecuado mostrar el comportamiento de la masa efectiva en función de la masa total del medio granular.

La presión hidrostática que se mide con el sistema del tubo piezométrico podemos pensarla como la presión ejercida por el peso W_e de una masa efectiva M_e que descansa sobre la membrana (ver (2) en figura 1), de forma tal que podemos escribir:

$$p(h) = \frac{M_e g}{A} \quad (1)$$

La masa equivalente M_e se obtiene del valor de la presión *p(h)* que se determina de la medición de la altura *h=h′* de la columna del líquido manométrico en el tubo piezométrico (paso (4) del protocolo):

$$p(h) = \rho_l g h' \quad (2)$$

donde ρ_l es la densidad del líquido manométrico (agua en nuestro caso), de forma tal que al igualar las ecs. (1) y (2) se obtiene que:

$$M_e = \rho_l A h' \quad (3)$$

Tabla 1. Resultados experimentales

M_W = 0.0 g		M_W = 18.88 g		M_W = 38.12 g	
M_T (g)	M_e (g)	M_T (g)	M_e (g)	M_T (g)	M_e (g)
30.08	29.71	50.02	51.90	30.08	55.85
40.02	36.85	70	60.55	40.02	68.45
50.04	42.12	80.02	68.07	50.01	77.66
60.04	45.13	90.08	75.97	60.03	82.36
70.05	50.39	100.05	77.476	70.06	85.37
80.04	57.16	110.04	80.86	80.04	86.5
90.07	62.05	120.03	83.49	90.07	88.75
100.02	66.19	130.05	85.93	100.01	89.51
110.04	69.20	140.1	89.51		
120.04	74.84	150.05	85.93		
130.07	72.58	160.12	93.27		
140.03	84.24	180.08	102.29		
150.01	83.87				
160.09	84.99				
170.03	85.75				
180	89.13				

En la tabla 1 se incluyen los datos experimentales obtenidos para la masa equivalente M_e en función de la masa del medio granular M_T con el prototipo descrito previamente. En ella se incluyen resultados para el caso sin carga (M_w = 0 g) y dos casos representativos obtenidos para silos cargados con M_w = *18.88 g y 38.12 g*.

Como se muestra en la figura 2 a diferencia de lo que se observa en el caso de la presión hidrostática de un líquido, el comportamiento lineal entre la masa equivalente M_e y la masa del medio granular M_T solamente se manifiesta para el caso de columnas pequeñas de medio granular (masa M_T pequeñas). La masa equivalente M_e, que es proporcional a la presión ejercida sobre el fondo del silo, se observa que aumenta más lentamente para columnas mayores de medio granular (masa M_T grandes), advirtiéndose valores de saturación para columnas aún más grandes. Es decir,

el comportamiento es no-lineal para columnas medianas y grandes (aproximadamente mayores al radio del silo), siendo esta manifestación aun más evidente conforme se incrementa la masa de la carga que descansa sobre la superficie libre del medio granular.

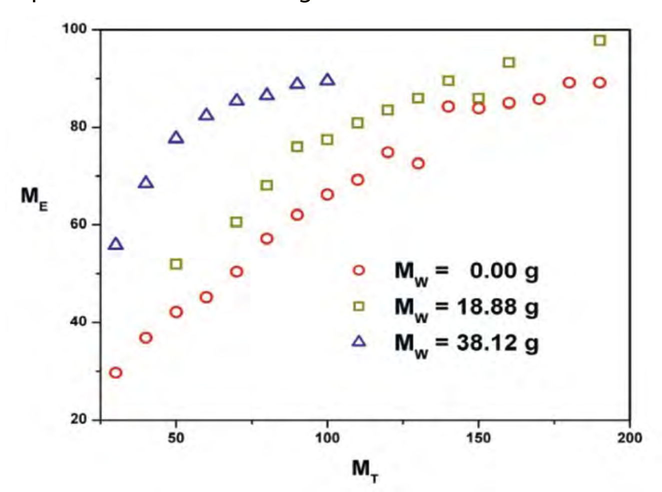


Figura 2. Masa equivalente en el silo respecto a la masa del medio granular (maíz) con y sin carga.

Con el objetivo de darle un marco conceptual a estos resultados experimentales, presentamos a continuación el modelo planteado por Janssen para tratar de explicar el comportamiento observado.

MODELO DE JANSSEN

Para desarrollar el modelo de Janssen, veamos la figura 3, donde se ilustra un elemento de volumen de medio granular de volumen $dV = Adh$ localizado a una profundidad h de la superficie libre del mismo. Observemos que el elemento de volumen está delimitado radialmente por la superficie del recipiente que lo contiene y que para el caso estaría determinado por la geometría del silo. En nuestro caso (silo cilíndrico) el área transversal sería $A = \pi r^2$.

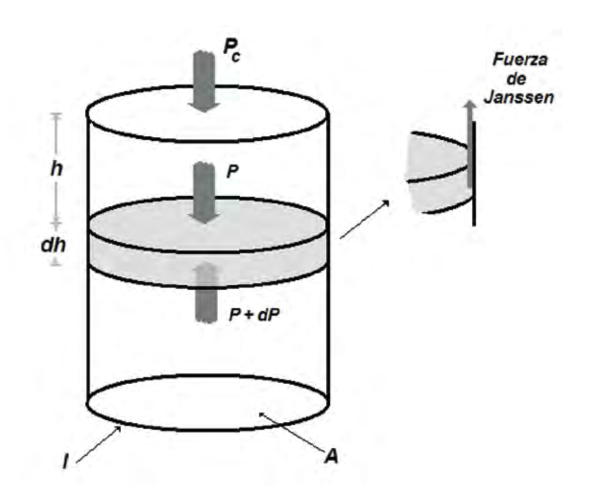


Figura 3. Modelo de Janssen.

Considerando que el medio granular se encuentra en reposo, necesariamente la fuerza neta ejercida sobre el elemento de volumen dV por el medio ambiente circundante debera ser nula. En este modelo, las fuerzas presentes sobre el elemento de volumen son: la del medio granular que descansa sobre éste, la del medio granular que se encuentra por debajo, el peso del elemento de volumen y la fuerza ejercida por la pared del silo.

Uno de los aspectos esenciales del modelo de Janssen se encuentra en la forma como se incluye la fuerza que ejerce la pared del silo sobre el medio granular. La naturaleza de esta fuerza es de carácter disipativo, es decir, se debe a que entre el medio granular y la pared del silo existe una fuerza de fricción que interviene haciendo posible que la pared misma ayude a sostener parte del peso del medio granular. Se plantea considerar que la fuerza de fricción ejercida por la pared interna del silo es proporcional a la fuerza ejercida por el medio granular sobre la pared, de forma tal que la ecuación de balance de fuerzas sobre el elemento de volumen de medio granular se expresa como:

$$(p + dp)A - pA - \rho gAdh + \mu_S Klpdh = 0 \qquad (4)$$

o bien

$$dp - \left(\rho g - \frac{\mu_S Klp}{A}\right)dh = 0 \qquad (5)$$

donde p es la densidad del medio granular, μ_s el coeficiente de fricción estática entre la pared interna del silo y el medio granular, l el perímetro del corte transversal circular del silo y K la constante de proporcionalidad del modelo de Janssen. "Es importante resaltar que la contribución del Modelo de Janssen se refleja en el último término de la ec. (4)", de tal manera que si éste se omite, la ecuación diferencial se reduce a la ecuación fundamental de la hidrostática. Ahora, integrando la ecuación (5) desde $h = 0$ (superficie libre del medio granular) hasta una profundidad h obtenemos que:

$$p_H = p_c e^{\frac{\mu_S Kl}{A}h} + \frac{\rho gA}{\mu_S Kl}\left(1 - e^{\frac{\mu_S Kl}{A}h}\right) \qquad (6)$$

donde p_c representa la presión ejercida por una carga colocada sobre la superficie libre del medio granular.

Para el caso de sistemas sin carga ($p_c = 0$) la ec. (6) se reduce a:

$$p(h) = \frac{\rho gA}{\mu_S Kl}\left(1 - e^{-\frac{\mu_S Kl}{A}h}\right) \qquad (7)$$

misma que incluye dos casos límites interesantes: para el caso de columnas grandes de medio granular ($h >> A/\mu_S Kl$) el término de la exponencial será muy pequeño, de forma tal que en este límite la ec. (7) nos dice que la presión se satura y adquiere un valor constante $p_s = \rho gA / \mu_s Kl$. Esto indica que para columnas de medio granular muy grandes, el colocar más medio granular sobre ellas no se verá reflejado en un incremento en la presión en el fondo del silo. Este es un aspecto muy peculiar que diferencía la presión hidrostática ejercida por un líquido y por un medio granular. Mientras que en el primer caso la presión en el fondo del

recipiente se incrementa linealmente con la altura de la columna líquida, en el segundo se tendrá una presión límite independientemente de cuanto mas grande se haga la columna del medio granular. Para el caso de columnas pequeñas de medio granular *(h << A/μ_sKl)*, podemos escribir el término exponencial que aparece dentro del paréntesis de la ec. (7) como un desarrollo en serie a primer orden, de forma tal que se obtiene que $p(h) \approx \rho gh$. Es decir, solamente para columnas de medio granular pequeñas, el comportamiento será como en el caso de la presión ejercida por una columna de líquido. En la figura 4 se incluyen dos gráficos cualitativos del comportamiento de la presión hidrostática en columnas de líquido y medio granular [6].

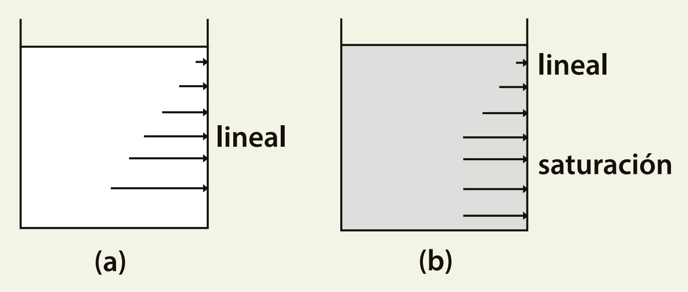


Figura 4. Presión hidrostática con la profundidad de: (a) un líquido y (b) un medio granular.

Para el caso de sistemas "cargados" $p_c \neq 0$), que imaginamos como aquellas columnas de medio granular sobre las cuales se ejerce una fuerza compresora, la ec. (6) nos indica que ahora la presión a una profundidad *h* tendrá dos componentes, la presión ejercida por la columna de medio granular de altura *h* y la presión $p_c e^{-\frac{\mu_s Kl}{A}h}$ ejercida por la carga colocada en la superficie libre.

El Principio de Pascal nos dice que "la presión ejercida sobre un líquido en reposo, se transmite íntegramente a todos los puntos y paredes del recipiente que lo contiene" [1], en otras palabras, si ejercemos una presión p_c sobre la superficie libre de un líquido, entonces la presión a una profundidad *h* será:

$$p(h) = p_c + \rho gh \qquad (8)$$

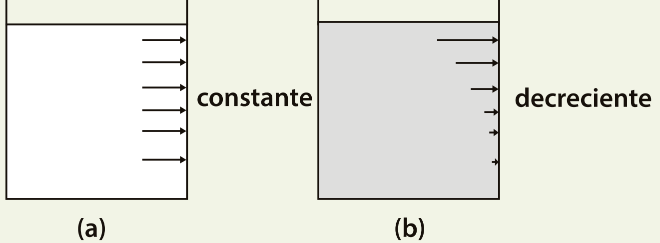


Figura 5. Efecto sobre el medio de la presión ejercida sobre la superficie libre. (a) un líquido y (b) un medio granular.

Es decir, p_c es una contribución adicional independientemente de la profundidad *h* del líquido. En contraste, la ec. (6) del modelo de Janssen nos indica que la presión de la carga solamente se reflejará tal cual para la superficie libre *(h=0)* y que su efecto disminuirá conforme aumenta la profundidad en el medio granular. Más aun, para el caso de columnas muy grandes *(h>> A/μ_sKl)* el efecto de la presión p_c ejercida por la carga sobre la superficie libre será prácticamente despreciable. En la figura 5 se describe cualitativamente la forma en la que se transmite la presión ejercida sobre la superficie libre de un líquido y un medio granular en reposo. Finalmente observemos que según el modelo de Janssen, la presión de saturación p_s, es la misma independientemente de si el medio granular esta "cargado" o no.

Con el objetivo de establecer un escenario comparativo de los datos obtenidos con el prototipo experimental (figura 2) y el modelo de Janssen, reescribamos la ec. (6) en términos de la masa M_T de medio granular, la masa equivalente M_e y la masa de la carga M_w ($p_c = \frac{M_w g}{A}$):

$$M_e = M_w e^{-\frac{\mu_s Kl}{\rho A^2}M_T} + \frac{\rho A^2}{\mu_s Kl}\left(1 - e^{-\frac{\mu_s Kl}{\rho A^2}M_T}\right) \qquad (9)$$

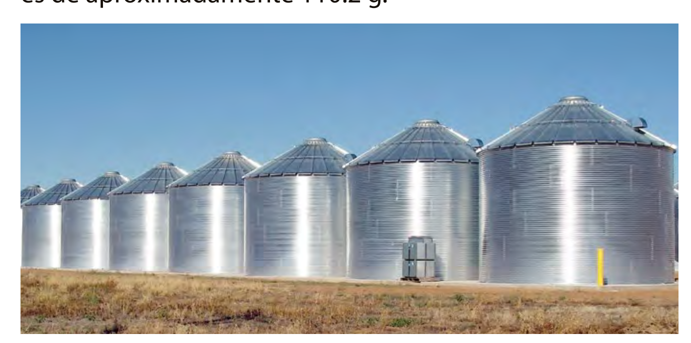
Observemos que es posible identificar una masa de saturación M_s definida como:

$$M_s \equiv \frac{\rho A^2}{\mu_s Kl} \qquad (10)$$

de forma que la ec. (9) queda expresada como:

$$M_e = M_w e^{-\frac{M_T}{M_s}} + M_s\left(1 - e^{-\frac{M_T}{M_s}}\right) \qquad (11)$$

Este modelo nos sugiere entonces analizar los resultados experimentales con funciones de ajuste de tipo exponencial. En la figura 6 se ilustra una gráfica comparativa de los resultados experimentales con los ajustes tipo Janssen. Para el caso de medio granular sin carga (círculos sin relleno) la función de ajuste $M_e = \alpha(1 - e^{-\beta M_T})$ nos aporta para los parámetros α y β los valores 110.20471 y 0.00914, respectivamente. Observemos que $\alpha = 110.2 \approx \beta^{-1} = 109.40$, consistente con el modelo de Janssen, toda vez que para $M_w = 0.0$ *la* ec. (11) indica que $\alpha = \beta^{-1} = M_s$. Este resultado nos permite concluir que el modelo planteado por Janssen reproduce satisfactoriamente el comportamiento observado experimentalmente, así mismo, que la masa de saturación es de aproximadamente 110.2 g.



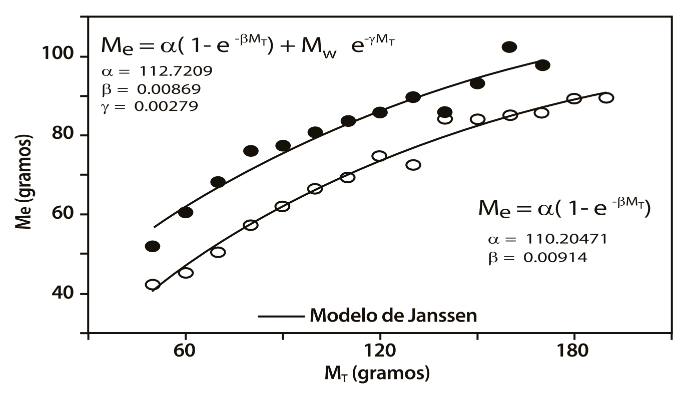


Figura 6. Resultados experimentales y modelo de Janssen. Los círculos corresponden a resultados experimentales sin carga y los círculos sólidos al caso con carga M_w=*18.88 g* de la figura 2.

Para el caso del medio granular con carga, se uso una función de ajuste de la forma $M_e = M_w\, e^{-\gamma M_T} + \alpha(1 - e^{-\beta M_T})$ para los datos experimentales (círculos sólidos) que se muestran en la figura 6. La motivación de seleccionar esta función de ajuste, proviene de la forma funcional del modelo de Janssen (ec. (11)). Estos ajustes fueron realizados en el graficador Origin 7.0 con la opción de ajuste no-lineal. Los valores de los parámetros α y β para este caso son 112.7209 y 0.00869, respectivamente. Observemos que $\alpha = 112.7209 \approx \beta^{-1} = 115.07$, sin embargo el parámetro γ tiene un comportamiento diferente, $\gamma^{-1} = 358.7 \neq \alpha \neq \beta^{-1}$. Es decir, nuestros resultados experimentales manifiestan que para el caso de un medio granular cargado, el término del modelo correspondiente a la carga M_w no describe adecuadamente el comportamiento para el caso de una carga de 18.88 g. Por otra parte, podemos señalar que si bien la masa de saturación no coincide en los casos con y sin carga, la diferencia es aceptable ya que arroja una diferencia máxima aproximada del 6%. La razón de que la masa de saturación sea mayor para el caso del medio granular cargado ($M_s = \alpha \approx 112.7\ g$) en relación al caso sin carga ($M_s = \alpha \approx 110.2\ g$) es entendible, en el sentido de que al colocar una carga sobre la columna de grano, podemos esperar una ligera compactación del medio granular que lleva a comparar dos columnas de alturas diferentes pero con igual masa total. Para el caso de cargas mayores la descripción del modelo de Janssen de los resultados experimentales se desvía aún más, como ha sido reportado previamente en la literatura [5].

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado una metodología y prototipo experimental que permite estudiar el comportamiento de la presión ejercida por un medio granular sobre el fondo de un silo cilíndrico. Así mismo, se presenta el modelo de Janssen, uno de los modelos primitivos que durante más de un siglo ha ayudado a discutir las ideas seminales subyacentes que permiten distinguir las similitudes y diferencias entre el comportamiento hidrostático de un líquido y un medio granular.

Específicamente, se ha corroborado que para un medio granular de maíz sin carga, se satisface el modelo de Janssen. Se observa que para el caso de medio granular cargado, la forma funcional del modelo es satisfactoria, sin embargo el parámetro que caracteriza a la carga no describe adecuadamente el comportamiento esperado por el modelo.

Consideramos que la descripción y discusión que aquí se presenta puede ser valiosa para profundizar en aspectos físicos relevantes de cursos de licenciatura en ciencias e ingeniería que incluyen el estudio teórico y experimental de los fluidos (Fluidos y Fenómenos Térmicos, Mecánica y Fluidos, Física II, entre otros). Como aspectos relevantes de este proyecto docente señalamos los siguientes: i) se ha construido un prototipo experimental sencillo, económico y portable, implementado con una metodología experimental distinta, misma que sustituye el pesado de columnas con balanza por la medición de presiones piezométricas; ii) se ha valorado como positivo hacer uso del modelo de Janssen para describir el comportamiento de medios granulares sin carga (o con carga pequeña); iii) se han corroborado las desviaciones del modelo de Janssen para el caso de medios granulares con carga. Los resultados sugieren que la fuente fundamental de la desviación podría residir en la forma funcional en que interviene la presión ejercida por la carga. Será interesante cuantificar este aspecto con mayor detalle como parte de algún proyecto final de laboratorio por parte de los estudiantes, así como también, buscar otros modelos matemáticos que describan con mayor precisión los resultados experimentales de medios granulares cargados.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer la colaboración del Taller de Máquinas y Herramientas del Departamento de Física en la construcción del prototipo experimental, especialmente al Lic. Claudio Delgadillo Rodríguez. Así también al L. F. Gregorio A. Véjar Delgado por su colaboración en las versiones preliminares de este proyecto docente.

BIBLIOGRAFÍA

1) D. C. Giancoli, Física para ciencias e ingeniería, 4ta ed., vol. 2, Pearson Educación, México, 2009.
2) FAO. Manual técnico para la construcción y el uso de los silos metálicos familiares para almacenar cereales y leguminosas de grano. Roma, 2014.
3) Laboratorio de Medios Granulares, Facultad de Ciencias, U. de Navarra.
4) M. Sperls, Experiments on corn pressure in silo cells – translation and comment of Janssen's paper from 1895, Granular Matter, vol. 8, pp. 59–65, May 2006.
5) L. Vanel, Ph. Claudin, J.-Ph. Bouchaud, M. E. Cates, E. Clément, and J. P. Wittmer, Stresses in Silos: Comparison Between Theoretical Models and New Experiments, Phys. Rev. Lett., vol. 84, no. 7, pp.1439–1442, February 2000.
6) D. M. Mueth, H. M. Jaeger, and S. R. Nagel, Force distribution in a granular medium, Phys. Rev. E., vol. 57, no. 3, pp.3194–3169, March 1998.

POLIMORFISMO DE LIPOSOMAS

ARACELI ARTEAGA JIMÉNEZ, MARÍA LETICIA VALENZUELA SÁNCHEZ, ADOLFO FONTES, RICARDO LÓPEZ ESPARZA*

RESUMEN

Revisamos las teorías actuales que explican los cambios de forma de liposomas. Incluimos resultados experimentales de Microscopía Óptica (MO), Contraste de Interferencia Diferencial (DIC) y Microscopía Electrónica de Criofractura (TEM) que muestran la variedad de formas y tamaños de liposomas obtenidos por el método de hidratación. Presentamos una explicación sencilla del posible mecanismo de formación de liposomas helicoidales y la necesidad de formular una teoría basada en Termodinámica de No Equilibrio para entender los cambios de topología de estas fascinantes estructuras.

Palabras clave: Liposomas, microscopía, membranas, elasticidad.

M. C. ARACELI ARTEAGA JIMÉNEZ
Instituto de Física,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Correo: arateaga@gmail.com
M. C. MARÍA LETICIA VALENZUELA SÁNCHEZ
Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora
Correo: leticiavalenzuela07@gmail.com

DR. ADOLFO FONTES
Departamento de Sistemas de Información y Comunicaciones,
Universidad Autónoma Metropolitana – Lerma
Correo: adolfo.fontes@alumni.manchester.ac.uk
DR. RICARDO LÓPEZ ESPARZA
Departamento de Física, Universidad de Sonora
Correo: ricardo.lopez@correo.fisica.uson.mx

*Autor para correspondencia: Dr. Ricardo López Esparza
Correo electrónico: ricardo.lopez@correo.física.uson.mx
Recibido: 27 de Marzo del 2015
Aceptado: 8 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Los liposomas [1] son estructuras cerradas compuestas de bicapas de moléculas de fosfolípido, las cuales poseen un carácter anfifílico. Esto significa que la sección polar (cabeza hidrófila) de la molécula se orienta hacia el agua mientras que la sección opuesta (cola hidrófoba, hidrocarbonada) repele a las moléculas de agua (Figura 1a).

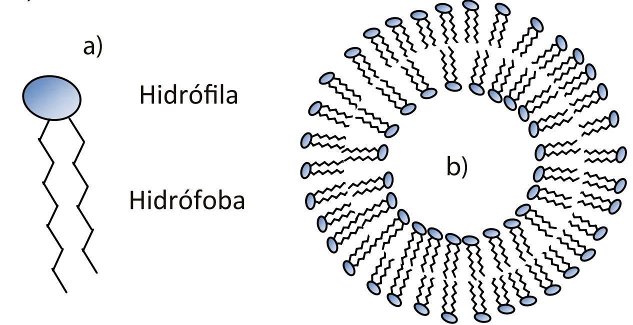


Figura 1. a) Secciones de una molécula de fosfolípido. b) Liposoma esférico en medio acuoso. Las moléculas de fosfolípido orientan su sección hidrófila producto de la interacción con las moléculas de agua.

Gracias a esta propiedad, al encontrarse inmersas en un solvente acuoso las moléculas anfifílicas se autoensamblan en estructuras conformadas por membranas. Entre las cuales se encuentran los liposomas (Figura 1b) y las fases lamelar y esponja. Por su compatibilidad con los sistemas celulares, los liposomas tienen gran importancia en la investigación básica y aplicada. En la primera, las membranas del liposoma sirven como modelo para estudiar la interacción de proteínas con el citoplasma, la difusión confinada de moléculas [2] y la fusión celular [3, 4]. De igual manera, han sido utilizadas para medir la elasticidad de membranas y la formulación de teorías que permitan explicar la trasportación de moléculas en el aparato de Golgi [5]. Tienen múltiples aplicaciones en la industria cosmética [6] y farmacéutica en la vectorización de moléculas [7]. En combinación con polímeros biocompatibles como polietilenglicol (PEG), han sido utilizados para transportar medicamentos al interior de la célula, permitiendo una liberación controlada del medicamento [8].

Muchos factores influencian el tamaño y forma de los liposomas. El método de hidratación por ejemplo, base para los métodos de electroformación, sonicación y extrusión permite elaborar liposomas multilamelares polidispersos tipo cebollas, del orden de 1-10 micras de diámetro. Si esta muestra es extruida, los liposomas pierden su multilameralidad y se convierten en liposomas con una sola bicapa lipídica (unilamelares), monodispersos, con diámetros en el orden de nanómetros. Por el contrario, someter esta muestra a un campo eléctrico variable en el método de electroformación, produce liposomas gigantes unilamelares del orden de 20-80 micras de diámetro con mayor monodispersión. Por su tamaño, los liposomas elaborados por re-hidratación o electroformación, son observables por Microscopía Óptica (MO) o Contraste de Interferencia Diferencial (DIC, por sus siglas en inglés) y son muy útiles para estudiar la interacción membrana macromolécula mediante técnicas como pinzas ópticas o micropipetas.

La concentración de fosfolípido, pH y sales presentes en el solvente, temperatura y carga de la cabeza polar, longitud e insaturación de la cola son parámetros importantes a controlar para la elaboración de liposomas. Una combinación de estas variables puede llevar a la coexistencia de liposomas esféricos, cilíndricos, helicoidales, combinación cilindro y agregados en liposomas elaborados por hidratación (Figuras 2 y 3).

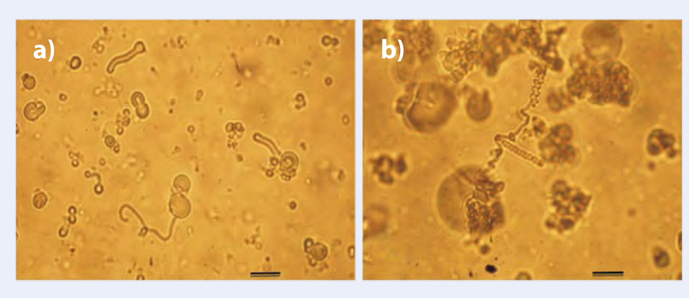
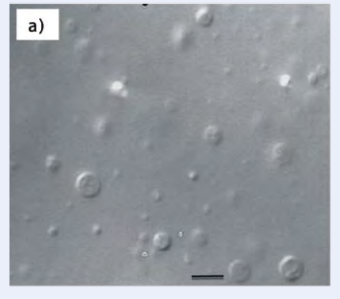


Figura 2. a) Liposomas esféricos y cilíndricos de DOPS preparados por el método de hidratación. b) Liposoma helicoidal en presencia de agregados de liposomas de DOPS. Imagen obtenida por MO. La escala equivale a una longitud de 20 µm. Las condiciones experimentales se presentan en el Anexo.



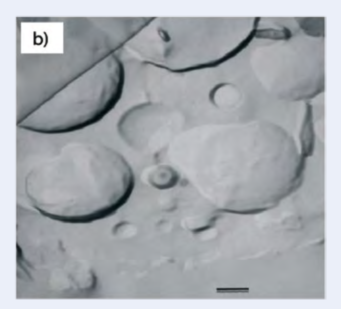


Figura 3. Liposomas esféricos de SOPS preparados por el método de hidratación: a) DIC (escala equivalente a 20 µm); b) Criofractura (escala equivalente a 200 nm). Las condiciones experimentales se presentan en el Anexo.

La coexistencia de este polimorfismo de liposomas es una de las preguntas abiertas que se bosqueja en este artículo. En este trabajo de divulgación presentamos las teorías más usadas para explicar la formación y cambio de forma de liposomas. Combinamos esta información con resultados experimentales originales obtenidos por MO, DIC y Microscopía Electrónica (TEM) en liposomas preparados por re hidratación. Nuestro objetivo es analizar sucintamente estas teorías y la influencia de parámetros fisicoquímicos en los cambios de forma de

liposomas y presentar las preguntas que permanecen abiertas en este sentido. El artículo está dividido en tres secciones. La primera corresponde a la Introducción. En la sección II, se presentan brevemente las teorías geométrica y termodinámica de Israelachvili, además de la teoría de Helfrich de constante elástica de membrana. Insertamos algunas imágenes obtenidas por MO, DIC y TEM. La sección III muestra las conclusiones del trabajo. De manera adicional, se incluye un Anexo para los Materiales y métodos utilizados y una sección en línea con Material Suplementario que permite visualizar algunas geometrías, su desplazamiento debido al movimiento browniano y la desestabilización de un liposoma helicoidal.

TEORÍAS PARA DESCRIBIR LOS CAMBIOS DE FORMA

El proceso que lleva a cada forma de liposoma parece quedar claro en geometrías esféricas o cilíndricas. Los liposomas, como las micelas, no son estructuras rígidas o estáticas. Las moléculas que conforman las bicapas lipídicas del liposoma entran y salen de la estructura manteniendo un radio promedio. De igual manera, las moléculas difunden a lo largo de la bicapa debido al movimiento browniano y otras se trasladan de una monocapa (perpendicular a la bicapa) a otra en un proceso difusivo de flip-flop (esta translocación implica un tiempo de difusión grande comparado al tiempo de difusión en la dirección lateral). Por otra parte, el liposoma como un todo, se mueve en el solvente como resultado de las fluctuaciones térmicas e interactúa con los demás liposomas por medio de interacciones de Van der Waals, eléctricas o entrópicas.

Enfoque estructural de la molécula

Uno de los modelos más sencillos para explicar las formas de autoensamblamiento de moléculas de fosfolípido, se debe a Israelachvili [9]. La molécula de fosfolípido en este modelo está caracterizada en términos del parámetro de empaquetamiento e,

$$e = \frac{v}{al_0} \qquad (1)$$

Donde v es el volumen ocupado por la molécula, *a* es el área de la cabeza polar y l_0 es la longitud máxima que puede ocupar la cola hidrófoba en este volumen (Figura 4).

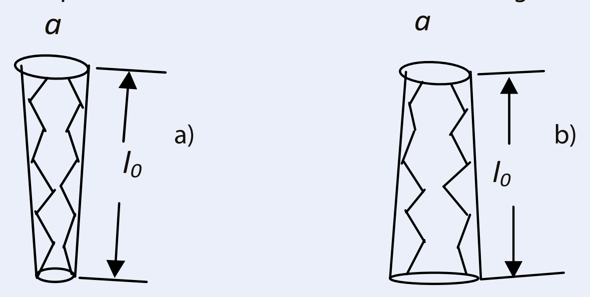


Figura 4. Definición del parámetro de empaquetamiento de acuerdo a Israelachvili [9]. Las diferencias en área de cabeza polar y volumen ocupado por la cola de a) y b) llevan a diferentes topologías.

De acuerdo a este modelo, cambios en alguno de los parámetros geométricos pueden inducir cambios de morfología. Por ejemplo, una molécula puede aumentar su área de cabeza polar *a* por un fenómeno de solvatación y la forma de la molécula cambiaría entonces de una forma de cono truncado (Figura 4a) a otra de cono (Figura 4b), o una combinación de ambas geometrías, lo que llevaría a favorecer liposomas esféricos o cilíndricos. Por otra parte, la reducción de la longitud de la cadena hidrófoba debido a su insaturación conlleva un aumento en e y posibles cambios de forma. Si bien este modelo geométrico permite entender la formación de liposomas con estas geometrías, no considera formas más complejas como liposomas tipo trenzas (helicoidales), coexistencia de topologías, los efectos combinados de la temperatura que afectan las interacciones entre cabezas polares y las propiedades mecánicas de membrana.

Descripción termodinámica de autoensamblado

Termodinámicamente, los liposomas se forman cuando existe una diferencia de potencial químico (energía libre por mol), μ, entre el agregado y las moléculas de fosfolípido (monómeros) disueltos en el medio [9]. En la descripción de Israelachvili, el potencial químico promedio para formas esféricas y cilíndricas está dado por la ecuación:

$$\mu_N^0 = \mu_\infty^0 + \frac{\alpha k_B T}{N^p} \qquad (2)$$

Donde μ_∞^0 es el potencial químico de una molécula en un agregado infinito, *α* es una constante positiva que depende de la intensidad de las interacciones intermoleculares, k_B la constante de Boltzmann, *T* la temperatura absoluta, *N* el número de monómeros que forman el agregado (número de agregación) y *p* es un número que depende de la forma de este agregado. Para bastones (o cilindros), discos y esferas, *p* tiene los valores 1,1/2, y 1/3, respectivamente. La ecuación 2 expresa que el potencial químico para las tres estructuras mencionadas sigue la secuencia: $1/N$ (cilindros) > $1/N^{1/2}$ (discos) > $1/N^{1/3}$ (esferas). Así, para el polimorfismo presentado en la figura 2 se tienen varios valores de *N* con sus correspondientes del parámetro *p*. La pregunta que surge ahora es: ¿Cómo conciliar este polimorfismo mediante una teoría que considere la estabilidad global del sistema? Por otra parte, si consideramos que la energía libre es el trabajo que requerimos para reducir la entropía (o aumentar el orden, construyendo estructuras con energía mínima), lo que dice la ecuación es que sí tenemos un liposoma cilíndrico, por ejemplo, y este cambia a una forma esférica, el proceso inherente a este cambio es un proceso de inestabilidad local. Como tampoco es un sistema abierto (la muestra como un todo), se requiere una teoría que considere otros parámetros físicos o bien una termodinámica de no equilibrio local. Otra manera de entender el cambio de forma está fundamentada en las propiedades mecánicas de membrana y el concepto de curvatura de membrana

introducido por Helfrich [10, 11], la cual puede aplicarse a partir de la formación de una bicapa.

Módulo elástico de membrana. Descripción de Helfrich

Tomando como base la parametrización de Monge de radios de curvatura asociados a topologías, Helfrich expresa la energía libre por unidad de área de una membrana mediante la ecuación:

$$E = \frac{1}{2}\oiint k(c_1 + c_2 - c_0)^2 dS + \oiint \bar{k}(c_1 c_2)\, dS \quad (3)$$

Donde *k* es la constante elástica de membrana que está asociada a las fluctuaciones térmicas y que controla la flexibilidad de la membrana (*k* grande implica una membrana muy rígida poco deformable; *k* pequeña significa tener una membrana muy flexible), c_0 la curvatura espontánea (asociada a la inhomogeneidad química de las monocapas que forman la membrana) y $\bar{k}$ el módulo gaussiano asociado a la topología en particular; c_1 y c_2 son las principales curvaturas de la superficie en algún punto de la membrana. De acuerdo al teorema de Gauss-Bonnet, la integral sobre una superficie cerrada del segundo término de la ecuación es una constante ($4\pi\bar{k}$), y por lo tanto sólo el primer término es relevante para estudiar la topología de liposomas. Para el caso de un liposoma esférico de radio r_0, formado de moléculas del mismo tipo ($c_0 = 0$) y $c_1 = c_2 = 1/r_0$, se tiene que la energía elástica (ignorando el segundo término de la ecuación 3) es:

$$E_{elástica} = \oiint_S \frac{1}{2}k(2c)^2 dS = 2k\oiint_S c^2 dS = 2k\frac{1}{R^2}\int_S 8\pi r dr = 8\pi k \quad (4)$$

Que expresa que la energía elástica es independiente del radio del liposoma. Un segundo caso interesante es el correspondiente a un liposoma cilíndrico. Procediendo de forma análoga al caso anterior, la energía elástica de un liposoma cilíndrico de radio r_c y longitud l_c es:

$$E_{elástica} = \frac{\pi k l_c}{r_c} \quad (5)$$

La variación de esta energía con respecto al radio del cilindro revela la existencia de una fuerza por unidad de área normal a la superficie del cilindro [10]:

$$\vec{F}_n = \frac{k_c}{r_c^3}\hat{n} \quad (6)$$

Con $\hat{n}$ un vector unitario normal a la superficie del liposoma cilíndrico. Esta fuerza es estabilizada por las fuerzas hidrofóbicas que mantienen unidas a las moléculas en esta topología. Un cambio topológico se puede dar si existe una fuerza externa que desestabilice estas fuerzas, por ejemplo, una fuerza generada por diferencia de presión. Helfrich considera esta posibilidad e introduce la presión osmótica en el sistema, ampliando la ecuación 2 (sin el término gaussiano) a una forma más generalizada [12]:

$$E = \frac{1}{2}\oiint [k(c_1 + c_2 - c_0)^2 dS + \Delta p \int dv + \lambda \oiint dS \quad (7)$$

Donde Δp es la diferencia de presión osmótica entre el exterior y el interior del liposoma y λ un esfuerzo de tensión. La diferencia de presión osmótica para una vesícula esférica se puede calcular del segundo término, obteniendo:

$$\Delta p = \frac{2k_c}{r_e^3}(6 - c_0 r_e) \quad (8)$$

La expresión permite entender que, en palabras de Zhong-can y Helfrich, "la estabilidad de un liposoma esférico depende de Δp, c_0, y r_0".

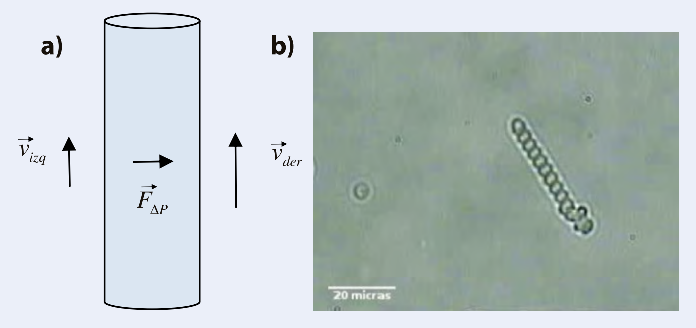


Figura 5. a) Esquema de las fuerzas generadas por el flujo asimétrico sobre la superficie de un cilindro. b) Liposoma helicoidal de DOPS (Imagen de MO).

Si consideramos ahora un liposoma cilíndrico que se encuentra sometido a flujo (Figura 5), la diferencia de velocidades, como fue anotado por Paredes et al en su explicación de la formación de liposomas helicoidales [13] produce una diferencia de presiones en la dirección perpendicular a la superficie del cilindro, la cual podemos asociar a una fuerza $\vec{F}_{\Delta P}$. Tal fuerza, cambia la presión osmótica de modo que se desestabiliza localmente la superficie del liposoma. Este fenómeno lleva a que el cilindro, que no es rígido, se curve en esos puntos. Por otra parte, si el flujo se mantiene, moléculas de fosfolípido ubicadas en la región de inestabilidad son trasladadas en dirección del flujo. El liposoma es entonces sometido a un esfuerzo adicional en esta dirección. La combinación de esfuerzos en la dirección del eje del cilindro y perpendicular a este, permiten que la estructura se tuerza generando un liposoma helicoidal. No hemos considerado en esta explicación la curvatura espontanea c_0. Como fue demostrado por Paredes *et al.* [13, 14], una proporción adecuada de fosfolípidos (fosfatilserina (SOPS) y fosfatidilcolina PC en su trabajo) con características químicas diferentes, implica tener un valor de curvatura espontanea lo que genera liposomas helicoidales bajo la presencia de flujo. Sin embargo, los resultados presentados en el presente artículo (Figura 2 y Figura 5b) obtenidos con solo un fosfolípido (DOPS) (homogeneidad química) indican que estas topologías particulares también pueden



obtenerse bajo flujo sin necesidad de curvatura espontanea. Un análisis teórico y de simulación computacional, que incluya una ampliación de la teoría de Helfrich, los efectos hidrodinámicos alrededor de la superficie del liposoma, las fuerzas hidrofóbicas y las fluctuaciones termodinámicas considerando Termodinámica de No Equilibrio puede clarificar este fenómeno. De igual manera, el proceso inverso, en el cual un liposoma helicoidal pierde su estructura puede ser ilustrativo (Video 2 de Material suplementario: http://paginas.fisica.uson.mx/biofisica.molecular/video2.wmv).

A nuestra consideración, sigue abierta la pregunta sobre el proceso de formación de un liposoma helicoidal.

CONCLUSIONES

Hemos revisado brevemente las teorías clásicas de formación de liposomas. De igual manera hemos planteado las preguntas que a nuestra consideración permanecen abiertas en el tema: ¿Por qué coexisten diferentes estructuras en un sistema de liposomas? ¿Cómo conciliar este polimorfismo con una teoría que considere estabilidad en un sistema con fluctuaciones locales? ¿Cuál es el proceso que lleva a la formación de un liposoma helicoidal?

A partir de la teoría de Helfrich de las constantes elásticas de membranas mostramos que un liposoma cilíndrico puede transformarse en un liposoma helicoidal bajo la presencia de un flujo. Este flujo genera fuerzas normales y axiales que inducen movimiento de las moléculas de fosfolípido. Las fuerzas estéricas e hidrofóbicas compiten con estas fuerzas de origen hidrodinámico, forzando la estructura helicoidal. Los resultados experimentales, muestran por otra parte, que se pueden obtener estos liposomas helicoidales sin necesidad de tener una curvatura espontanea. Debido a lo complicado del fenómeno y las fuerzas involucradas, planteamos la necesidad de extender la teoría de Helfrich y simulación computacional, considerando Termodinámica de No Equilibrio.

ANEXO, MATERIALES Y MÉTODOS

A.1 Moléculas y solvente

Los fosfolípidos utilizados fueron: a) 1-octadecanoyl-2-(9Z-octadecenoyl)-*sn*-glycero-3-phospho-L-serine (sodium salt) (SOPS) (C42H79NO10PNa), 812.41 g/mol, y b) 1,2-dioleoyl-*sn*-glycero-3-phospho-L-serine (sodium salt), (DOPS) ($C_{42}H_{77}NO_{10}PNa$), 810.025 g/mol, ambos aniónicos de pureza mayor al 99% de Avanti Polar Lipids. La estructura química de ambas moléculas se muestra en la figura A.1. En la preparación de muestras se utilizó agua tipo MilliQ con 18.2 MΩcm de resistividad. Fueron utilizados para contraste óptico glucosa y sacarosa con pureza mayor al 95% de Fluka.

a)

b)

Figura A1. Moléculas de a) SOPS y b) DOPS. Esta última molécula se diferencia de SOPS en tener dos insaturaciones, una en cada cola hidrocarbonada. La estructura química de la cabeza polar, es idéntica (Imágenes tomadas de http://www.avantilipids.com).

A.2 Preparación de liposomas

Los liposomas fueron preparados por el método de re-hidratación. El primer paso del método consistió en colocar 10 μg de fosfolípido (disuelto en cloroformo) y secarlo en una campana de vacío a temperatura de laboratorio durante 3 horas. En el segundo paso, la película seca es hidratada con una solución de glucosa/sacarosa a

concentración equimolar de 0.2M que permite lograr un contraste óptico adecuado para la observación por MO y DIC. Después de este paso, las muestras son refrigeradas a 4 °C por un periodo de 24 horas para permitir que todas las moléculas situadas en la película se despeguen del fondo del frasco y se integren a la formación de liposomas. Posteriormente, las muestras son sacadas del refrigerador, agitadas ligeramente y dejadas reposar para que alcancen de nuevo la temperatura de laboratorio; luego, la muestra es colocada en portaobjeto de vidrio para la observación con MO.

A.3 Microscopía Óptica y de Contraste de Interferencia Diferencial

Utilizamos un Microscopio Óptico invertido Olympus DX1 en dos modos de observación: contraste de fase y DIC con objetivo de 60X. El sistema DIC, tiene acoplado prismas Nomarski y polarizadores cruzados para mejorar el contraste de muestras delgadas transparentes aprovechando el fenómeno de interferencia. DIC permite tener así, un gradiente direccional de fase obtenido por dos haces que interfieren constructiva y destructivamente sobre la muestra. Este gradiente, permite tener un cuasi 3D de la muestra observada de modo que las estructuras aparecen realzadas en una dirección. Esta técnica quita las clásicas "aureolas" que aparecen en las estructuras cuando se observa en MO de contraste de fase.

A.4 Microscopía Electrónica de Criofractura

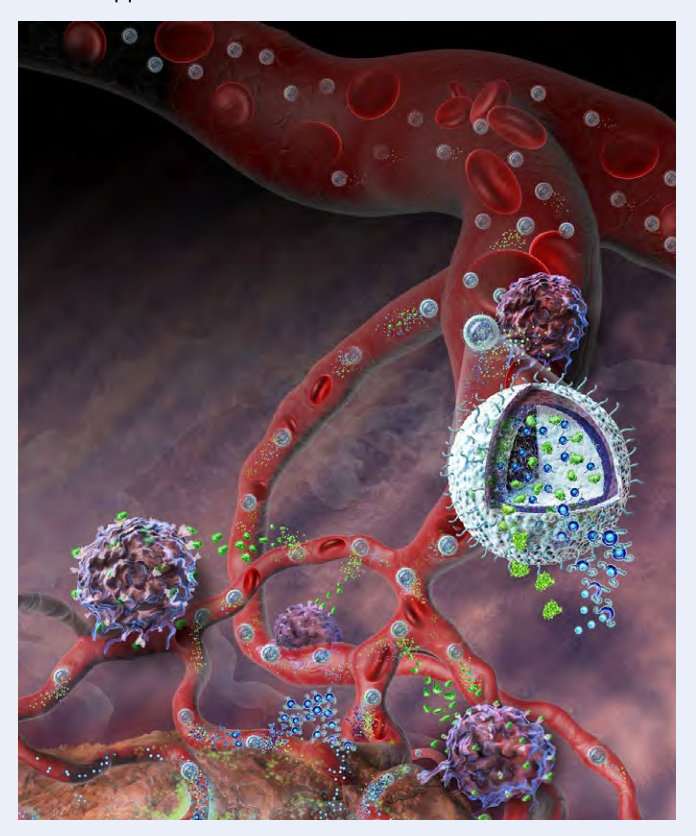
La técnica de Microscopía Electrónica de Transmisión por Criofractura, involucra los siguientes pasos. Primeramente, un pequeño volumen de la muestra preparada por re-hidratación se congela rápidamente en nitrógeno líquido para preservar las estructuras moleculares. Luego, el especimen es fracturado a alto vacío para evitar problemas de contaminación y replicación falsa de las estructuras. El último paso es un baño de platino seguido de carbono para asegurar la estabilidad mecánica de la muestra. Se utilizó un Microscopio Electrónico de Transmisión Jeol 2010.

Material suplementario incluye:

a) Video 1: Liposoma helicoidal http://paginas.fisica.uson.mx/biofisica.molecular/video1.wmv
b) Video 2: Desestabilización de un liposoma helicoidal http://paginas.fisica.uson.mx/biofisica.molecular/video2.wmv

BIBLIOGRAFÍA

1) G. Pabst, N. Kucerka, M-P. Nieh, & J. Katsaras (Eds.), Liposomes, lipid bilayers and model membranes: From basic research to application. 2014. pp. 341-360.
2) Y. Gambin, R. Lopez-Esparza, M. Reffay, E. Sierecki, N. S. Gov, M. Genest, R. S. Hodges and W. Urbach, Lateral mobility of proteins in liquid membranes revisited. PNAS 103 (7). 2006. pp. 2098-2102.
3) B. M. Ogle and J. L. Platt. The Biology of Cell Fusion: Cells of different types and from different species can fuse, potentially transferring disease, repairing tissues and taking part in development. American Scientist. 92 (5). 2004. pp. 420-427.
4) G. Lei and R. C. McDonald, Lipid bilayer vesicle fusion: Intermediate captured by high-speed microfluorescence spectroscopy. Biophys. J. 85. 2003. pp. 1585-1599.
5) E.-I. Pécheur, I. Martin, O. Maier, U. Bakowsky, J.-M. Ruysschaert, D. Hoekstra. Phospholipid species act as modulators in p97/p47-mediated fusion of Golgi membranes. Biochem. 41. 2002. pp. 9813-9823.
6) Y. Rahimpour, H. Hamishehkar, Liposomes in cosmetics, Expert Opin. Drug Deliv. 9. 2012. pp. 443–455.
7) V. Torchilin, Multifunctional nanocarriers. Adv. Drug Delivery Rev. 58 (14). 2006. pp. 1532–1555.
8) Dr. A. Gabizon and F. Martin, Polyethylene Glycol-Coated (Pegylated) Liposomal Doxorubicin. Drugs 54 (4). 1997. pp. 15-21.
9) J. Israelachvili, Intermolecular and surface forces, 3a ed. Academic Press. 2011.
10) W. Helfrich, Elastic Properties of Lipid Bilayers. Theory and Possible Experiments, Z. Naturforsch. C 28. 1973. pp. 693-703.
11) W. Helfrich, Steric interactions of fluid membranes in multilayer systems, Z. Naturforsch. 33a. 1978. pp. 305-315.
12) O.-Y. Zhong-Can and W. Helfrich, Instability and Deformation of a Spherical Vesicle by Pressure. Phys. Rev. Lett. 59 (21). 1987. pp. 2486-2488.
13) G. Paredes-Quijada, H. Aranda-Espinosa y A. Maldonado. Shapes and Coiling of Mixed Phospholipid Vesicles, Lipids 44. 2009. pp. 283–289.
14) G. Paredes-Quijada, H. Aranda-Espinosa y A. Maldonado. Shapes of Mixed Phospholipid Vesicles, J. Biol. Phys. 32. 2006. pp. 177–181.





ELECTROBIORREMEDIACIÓN, UNA TÉCNICA INNOVADORA PARA LA LIMPIEZA DE SUELOS CONTAMINADOS

JUANA ALVARADO IBARRA*, KAREN NAVARRO PALOMARES, KARLA TERÁN SAMANIEGO, CAROLINA VIZCARRA OLVERA

RESUMEN

En este escrito se hace una revisión bibliográfica con el propósito de mostrar una técnica innovadora para la eliminación de contaminantes orgánicos en suelos, la cual consiste en la aplicación de un campo eléctrico y el uso de organismos biológicos como plantas y bacterias. Esta práctica es conocida como electrobiorremediación y surge a partir de la necesidad de mejorar los métodos ya existentes de remediación de suelos. El objetivo de este documento es mostrar el funcionamiento, las limitantes, así como las ventajas y desventajas de la aplicación de la electrobiorremediación.

Palabras clave: Biorremediación, bioaumentación, electrobiorremediación y electrocinética.

ABSTRACT

In this paper a literature review has been made to show an innovative technique for the removal of organic contaminants in soil, which involves the application of an electric field and the use of biological organisms such as plants and bacteria. This practice is known as electrobioremediation and arises from the need to improve existing soil remediation methods. The aim of this paper is to show the operating, limitations, as well as the advantages and disadvantages of implementing the electrobioremediation.

Keywords: Bioremediation, bioaugmentation, electrobioremediation and electrokinetic.

DRA. JUANA ALVARADO IBARRA
Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora
Correo: jalvarado@polimeros.uson.mx

ING. KAREN NAVARRO PALOMARES
Posgrado en Sustentabilidad, Universidad de Sonora
Correo: napk9211@gmail.com

E.D.S. KARLA TERÁN SAMANIEGO
Posgrado en Sustentabilidad, Universidad de Sonora
Correo: kteran28@hotmail.com

LIC. CAROLINA VIZCARRA OLVERA
Posgrado en Sustentabilidad, Universidad de Sonora
Correo: carolina.vizvarrao@gmail.com

*Autor para correspondencia: Dra. Juana Alvarado Ibarra
Correo electrónico: jalvarado@polimeros.uson.mx

Recibido: 15 de Marzo del 2015
Aceptado: 17 de Junio del 2015
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que ha tomado relevancia a nivel internacional, nacional y local, ya que ha venido degradando los ecosistemas de nuestro planeta, poniendo a prueba las capacidades de los gobiernos para actuar ante la nueva necesidad de remediar la afectación de estos entornos [1].

Considerando lo descrito en el párrafo anterior, la corteza terrestre no es un entorno natural que se encuentre exceptuado de la contaminación; pues es conocido que la contaminación del suelo se puede dar, entre otros: por exceso de fertilizantes y derrames de productos químicos; o uso de insecticidas, herbicidas y pesticidas. Según un estudio del Instituto Nacional de Ecología (INE) [2], en México actualmente existen una gran cantidad de sitios contaminados con diferentes tipos de compuestos, debido principalmente a las actividades de la agricultura, la industria minera y la petroquímica, además de la disposición clandestina y derrames de productos y residuos peligrosos [3].

Un suelo contaminado disminuye su calidad, presenta un exceso o déficit de humedad, disminuye los nutrientes disponibles para plantas y microorganismos nativos de los sitios, lo que provoca erosión del suelo y conduce a la contaminación del aire y del agua. Además, el suelo constituye uno de los recursos naturales más importantes del planeta; es el substrato que sustenta la vida; es la interfaz entre la atmósfera, la litósfera, la biósfera y la hidrósfera; es un elemento dinámico y vivo [4]; de ahí la importancia de tratar los suelos contaminados.

Existen numerosas tecnologías de remediación de suelos contaminados que pueden clasificarse en 3 tipos: a) biológicos (biorremediación, bioestimulación, fitorremediación, biolabranza, etc.), en donde las actividades metabólicas de ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes a productos metabólicos inocuos; b) fisicoquímicos (electrorremediación, lavado, solidificación/estabilización, etc.), aquí se toma ventaja de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes para destruir, separar o contener la contaminación; y c) térmicos (incineración, vitrificación, desorción térmica, etc.), en los cuales se utiliza calor para promover la volatilización, quemar, descomponer o inmovilizar los contaminantes en un suelo [5].

Actualmente, se ha despertado un especial interés en emplear una tecnología híbrida para el tratamiento de suelos contaminados con compuestos orgánicos hidrofóbicos (HOC por sus siglas en inglés); esta técnica de innovación une los beneficios de la biorremediación y la electrocinética, la cual es nombrada como electrobiorremediación [6].

ELECTROBIORREMEDIACIÓN

La electrobiorremediación es una técnica que combina las ventajas de la tecnología electrocinética con las ventajas de la biorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con un nivel de baja, media o alta permeabilidad. Esta es una técnica barata y muy eficiente; sin embargo, se debe poner gran atención en que los microorganismos utilizados sean capaces de degradar los contaminantes a los que están dirigidos [7].

Esta técnica, como se muestra en la figura 1, consiste en la aplicación de corriente eléctrica directa al suelo y, según el tipo de contaminante, ocurren dos fenómenos: 1) biodegradación de los contaminantes, lo que aumenta la biodisponibilidad de nutrientes y facilita que los microorganismos los aprovechen; y 2) migración de contaminantes, en este caso la corriente eléctrica provoca que los contaminantes se trasladen hacia las plantas para que sean retenidos o eliminados en alguna parte de ella [8]. Aunado a estas estrategias, en el año 2010 se identificaron también 3 mecanismos de remoción de los contaminantes: electroósmosis, electromigración y electroforesis [9].

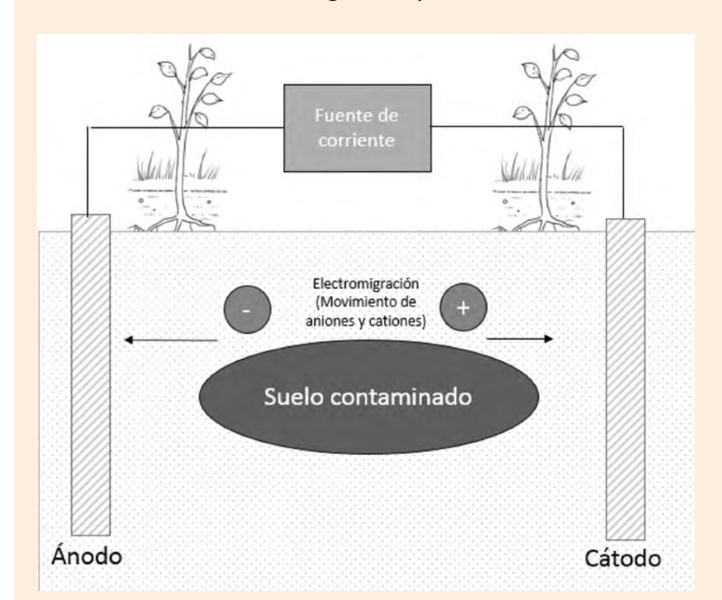


Figura 1. Esquema de la técnica de la electrobiorremediación.

Varios estudios han demostrado que la técnica de electrobiorremediación mejora la eliminación de contaminantes orgánicos, tales como compuestos aromáticos, herbicidas y tricloroetileno; de igual manera, se ha confirmado que la fuerza del campo eléctrico y la matriz de electrodos tienen efectos sobre la degradación de los contaminantes durante la biorremediación in situ; y se ha encontrado que las bajas densidades de corriente tienen poco efecto sobre la actividad bacteriana, ya que se ha descubierto que a 1.57 A/m^2 de corriente continua se puede estimular su actividad; afortunadamente, la aplicación de este método ha tenido efectos benéficos sobre la transferencia de microbios y nutrientes [10].

Hay limitaciones en la tecnología de electrobiorremediación que deben superarse, éstas incluyen: a) la solubilidad del contaminante y su desorción

de la matriz del suelo; b) la disponibilidad del tipo de microorganismos en el sitio de la contaminación; c) la relación entre las concentraciones de iones; d) el requisito de un fluido para la movilización de contaminantes; e) la heterogeneidad o anomalías encontradas en los sitios, como grandes cantidades de hierro u óxidos de hierro, grandes rocas o grava; y f) los efectos de electrodos tóxicos en el metabolismo microbiano, ruptura de la membrana celular o cambios en las propiedades físico-químicas de la superficie de células microbianas [11].

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE ELECTROBIORREMEDIACIÓN

La biorremediación se caracteriza por ser una técnica amigable con el ambiente y de bajo costo. Sin embargo, al combinar esta técnica con la electrorremediación sus características cambian, ya que la aplicación de corriente eléctrica directa modifica algunas propiedades del suelo, como el tamaño de las partículas (granulometría), contenido de materia orgánica, pH y cantidad de sales solubles [12]. Entre las características que se ven alteradas en el suelo se encuentra la homogenización de humedad, esto se debe a que el agua se mueve hacia uno de los electrodos en particular, provocando la aparición de poros y su consecuente variación en pH, por lo que el flujo electroosmótico se vuelve irregular; es así que el suelo puede perder calidad. Sin embargo, cabe hacer mención de que el pH puede ser regulado al combinar la electrobiorremediación con otras técnicas como la lixiviación [13].

Entre las ventajas de esta técnica tenemos: 1) biodegradación, la cual transforma los contaminantes a compuestos más simples y fáciles de degradar para los organismos, 2) aumenta la biodisponibilidad de nutrientes y 3) migración de contaminantes. Lo anterior se traduce en un aumento en la eficiencia de remoción de los agentes contaminantes y una disminución en el tiempo del proceso de remediación, lo que favorece la reducción en los costos de operación [14].

CASOS DE ESTUDIO

Entre los casos a nivel internacional se encuentran los realizados a través de las redes de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, llevando a cabo varios experimentos con la intención de optimizar la técnica de electrobiorremediación. De lo antes descrito, se encontró que la aplicación de surfactantes son un factor favorable que contribuye a la biodisponibilidad del contaminante, así como a su biodegradación (porcentajes de remoción que van por encima del 50%); sin embargo, se reconocieron efectos negativos, por lo que es necesario realizar un mayor número de estudios referentes a esta área, los cuales deberán incluir información específica en cuanto a magnitudes y sustancias químicas requeridas [15].

Por otra parte, el estudio realizado en suelos no saturados en la Patagonia demostró la eficiencia de remoción de compuestos recalcitrantes, pero se encontró que los puentes salinos de fosfato de amonio utilizados para aumentar el flujo de electrones, pueden alterar el pH del suelo después de 60 días [16].

Otros casos más frecuentes son los realizados a menor escala, es decir, aquéllos llevados a cabo en laboratorios o reactores donde es posible controlar las condiciones. Uno de estos casos fue el realizado en Reino Unido, donde se descontaminó un suelo que contenía cadmio y arsénico, utilizando las técnicas de electrorremediación y fitorremediación [17].

A nivel nacional, la técnica de electrobiorremediación ha sido un foco de importancia ya que puede realizarse incluso si el presupuesto es bajo; una actividad económica que ha mostrado una gran necesidad de atención por la contaminación de suelo que ocasiona, es la minería, según lo dispuesto en la NOM-138-SEMARNAT-2003. Esta actividad es una de las más destacadas por su gran influencia en el porcentaje de producto interno bruto de los países; y es por las razones comentadas que se han llevado a cabo algunos estudios de dicha técnica, principalmente en el estado mexicano de Durango [18].

Es importante señalar que se evaluó la capacidad de la electrobiorremediación como tratamiento integral, llegando a la conclusión de que esta técnica, es más noble tanto para el suelo como para el agua residual, al ser combinado con otro tratamiento posterior, como la bioaumentación; lo anterior con el propósito de obtener concentraciones menores al límite máximo permisible por la norma mencionada [19].

DISCUSIÓN

Existen varias herramientas para remediar el suelo contaminado, pero específicamente, la electrobiorremediación ofrece éxito en su implementación de acuerdo a los siguientes resultados: 1) degrada los contaminantes; 2) aumenta la disponibilidad de nutrientes y facilita que los microorganismos los aprovechen; 3) propicia la migración de los contaminantes; y 4) no requiere de gran inversión financiera.

Es importante mencionar que hay limitaciones en la tecnología de electrobiorremediación que deben superarse, tales como: a) la solubilidad del contaminante y su desorción de la matriz del suelo, b) la disponibilidad del tipo de microorganismos en el sitio de la contaminación, c) la relación entre las concentraciones de iones, d) el requisito de un fluido para la movilización de contaminantes, e) la heterogeneidad o anomalías encontradas en los sitios, como grandes cantidades de hierro u óxidos de hierro, grandes rocas o grava, y f) los efectos tóxicos en el metabolismo microbiano, ruptura de la membrana celular o cambios en las propiedades físico-químicas de la superficie de células microbianas.

Sin embargo, es crucial señalar que la electrobiorremediación puede combinarse con alguna otra técnica de limpieza de suelo y así alcanzar mejores resultados.

CONCLUSIONES

La electrobiorremediación es una técnica hibrida para limpieza de suelo contaminado con un gran potencial de explotación, por lo que se debe impulsar su estudio y desarrollo; es de gran importancia que se busque la manera de disminuir los impactos negativos que conlleva su aplicación e investigar los organismos biológicos que pueden desarrollarse en presencia de la corriente eléctrica; así como también, continuar las investigaciones respecto al sinergismo que se puede lograr al trabajar en conjunto dos o más técnicas de remediación.

BIBLIOGRAFÍA

1) Romaniuk R., Brandt J. F. , Ríos P. R. y Giuffré L. Atenuación natural y remediación inducida en suelos contaminados con hidrocarburos. CI Suelo (Argentina). 25(2): 139-149. 2207.

21) Volke T., Velasco J.A. y De la Rosa D.A. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. México: SEMARNAP, Instituto Nacional de Ecología. 2005.

3) INEGI. Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente [en linea] Disponible en: http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanolprensa/contenidos/estadisticas/2010/ambiente10.asp?s=inegi&c=2761&ep=36. 2010.

4) Ortiz Bernad I., Sanz García J., Dorado Valiño M., Villar Fernández S. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica mi+d, 6, 6-7. 2007.

5) Martínez M. A., Unzueta J., and Pérez M. E. Electrobioremediation as a hybrid technology to treat soil contaminated with total petroleum hydrocarbons. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 13(1), 113-127. 2014.

6) Wick L. Y., Lei S. and Hauke H. Electro-bioremediation of hydrophobic organic soil-contaminants: a review of fundamentalinteractions. Elsevier. Electrochimica Acta, 52(10), 3441-3448. 2007.

7) Mena E., Villaseñor J., Cañizares P. and Rodrigo M. A. Effect of a direct electric current on the activity of hydrocarbon-degrading microorganism culture used as the flushing liquid in soil remediation processes. Elsevier. Separation and Purification Technology, 124, 217-223. 2014.

8) De La Rosa D. A., Teutli L. M., Margarita M., y Ramírez M. E. Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 23(3), 129-138. 2007.

9) Virkutytea J., Sillanpää M. and Latostenmaa P. Electrokinetic soilremediation-critical overview. Science of the Total Environment, 289 (1), 97-121. 2002.

10) Tingting L., Shuhai G., Bo W., Fengmei L., Zhixin N. Effect of electric intensity on the microbial degradation of petroleum pollutants in soil. ScienceDirect. Journal of Environmental Sciences. 22 (9) 1381-1386. 2010.

11) Mallavarapu M., Balasubramanian R., Kadiyala V, Nambrattil S., Raví N. Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. Elsevier. Environment International. 37(8), 1362-1375. 2011.

12) Acuña A. J., Tonin N., Pucci G. N., Wick L., and Pucci, O. H. Electrobioremediation of an unsaturated soil contaminated with hydrocarbon after landfarming treatment. Portugaliae Electrochimica Acta 28(4), 253-263. 2010.

13) López R., Alonso J., Cañizares P., León M. J., Navarro V., Rodrigo M. A. Electroremediation of a natural soil polluted with phenanthrene in a pilot plant. Journal of Hazardous Materials, 265(0), 142-150. 2014.

14) Volke T. y Velasco J. A. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. México: SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología. 2002.

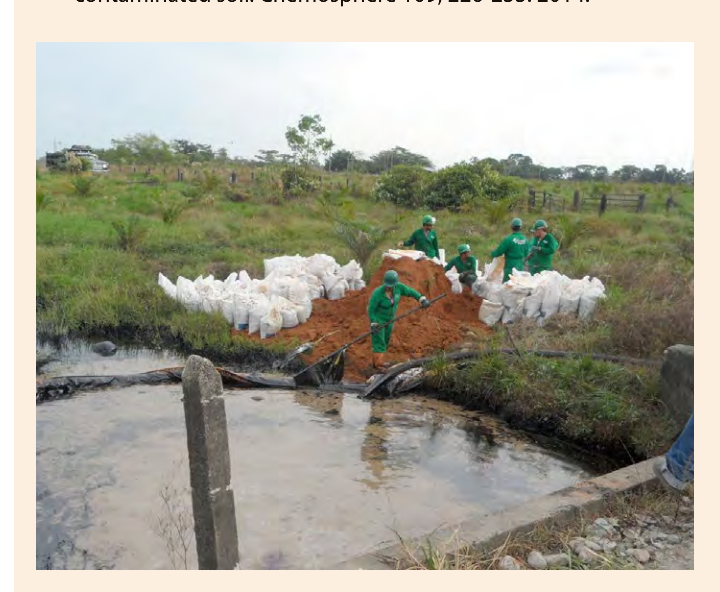
15) González H. H. R., Bustillos L. G. T., Fernández I. M., Cortés, J. D. J. B. y Moroyoqui, P. G. Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Química Viva, 9(3), 120-145. 2010.

16) Pucci G.N., Acuña A.J., Wick L.Y., and Pucci, O.H. Electrobioremediation of Patagonian Soils Contaminated with Hydrocarbons. Portugaliae Electrochimica Acta 30(5), 361-370. 2012.

17) O'Connor C. S., Lepp N. W., Edwards R. and Sunderland G. The Combined Use of Electrokinetic Remediation and Phytoremediation to Decontaminate Metal-Polluted Soils: A Laboratory-Scale Feasibility Study. Environmental Monitoring and Assessment, 84(1-2), 141-158. 2003.

18) Secretaría del Medio Ambiente Y Recursos Naturales. NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. 2003.

19) Shuhai G., Ruijuan F., Tingting L., Niels H., Fengmei L. and Xuelian Y. Synergistic effects of bioremediation and electrokinectics in the remediation of petroleum-contaminated soil. Chemosphere 109, 226-233. 2014.





DAR VOZ A LOS MOLUSCOS, UNA REVISIÓN DE SHELLS ON A DESERT SHORE: MOLLUSKS IN THE SERI WORLD

HANS BERTSCH*, LUIS E. AGUILAR ROSAS

RESUMEN

Las relaciones ecológicas y culturales entre los seri (comcaac) de Sonora y los moluscos marinos se describen comprensivamente en el nuevo libro Shells on a Desert Shore: Mollusks in the Seri World, escrito por Cathy Moser Marlett.

Palabras-clave: Seri, comcaac, moluscos, etnomalacología, Cathy Moser Marlett

ABSTRACT

The ecological and cultural relationships between the Seri (Comcaac) of Sonora and marine mollusks is comprehensively described in the new book Shells on a Desert Shore: Mollusks in the Seri World, written by Cathy Moser Marlett.

Keywords: Seri, comcaac, mollusks, ethnomalacology, Cathy Moser Marlett.

DR. HANS BERTSCH
Correo: hansmarvida@sbcglobal.net

OCEAN. LUIS E. AGUILAR ROSAS
Correo: aguilarl@uabc.edu.mx
Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

*Autor para correspondencia: Dr. Hans Bertsch
Correo electrónico: hansmarvida@sbcglobal.net

Recibido: 27 de Febrero del 2015
Aceptado: 28 de Mayo del 2015
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

Los moluscos han sido utilizados por los humanos desde hace mucho tiempo. Las evidencias de sus usos en las diferentes culturas están presentes en todo el planeta; en las costas como las de Sudáfrica existen evidencias de hace cien mil años que muestran que los humanos utilizaban las conchas de Haliotis midae para mezclar pigmentos color ocre [2]. Excavaciones en concheros en las costas del Pacífico, en la región de San Quintín-El Rosario, Baja California, revelan patrones de asentamientos que datan de hace más de 7,000 AP [3]; éstos muestran que los cazadores-recolectores consumían primordialmente almeja pismo (Tivela stultorum) en las playas arenosas y mejillón de California (Mytilus californianus), en las costas rocosas. También existen evidencias en zonas alejadas de las costas, como es el caso del Templo Mayor en Tenochtitlán (Ciudad de México), donde se encontraron adornos hechos a partir de 15 especies de conchas marinas provenientes del Pacífico y del Caribe. Estas ofrendas rituales sólo se encontraron en las Fases V-VIII de Construcción del Templo (1440-1520 EC), después de que los constructores consolidaron su imperio de costa a costa [4].

Los seris han vivido por milenios a lo largo de las costas del Golfo de California, en México. A pesar de que su cultura está sutil y complejamente entrelazada con los moluscos, sus registros arqueológicos han sido poco estudiados; sus concheros y asentamientos contienen cerámicas, piedras trabajadas y los restos de conchas parecen ser los que quedan después de haberlos consumido. Lo especial de esta cultura radica en las personas que actualmente hablan sobre los usos que sus padres o abuelos cazadores-recolectores les daban a los moluscos y aún recuerdan los nombres y pensamientos mitológicos, dándoles voces a los moluscos. ¿Dónde más podríamos escuchar una canción (en este libro, pp. 169-170) sobre la gaviota de patas amarillas (Larus livens) comiendo babosas de mar (Aplysia californica)?:

"La babosa de mar estalla,
La babosa de mar estalla,
Hatx cöcazoj immaptx
¡La estallé!
¡La estallé!
Iiqui ihyamaptx"

Cantada por Angelita Torres en su lengua nativa y en peligro de desaparecer.

Conchas en una playa desértica (Figura 1) es una magnífica hazaña, una brillante combinación entre la biología marina, la lingüística, la etnomalacología e historia cultural. En el libro se describe el mundo comcaac (el pueblo seri) y sus relaciones con los moluscos. La autora, Cathy Marlett creció entre ellos, jugando con sus amigos de la infancia en la orilla del mar, cerca de la casa de su familia en el pueblo de Haxöl Iihom. El propio nombre del pueblo refleja la cercanía del pueblo seri con los moluscos y su ambiente desértico/oceánico, ya que Haxöl Iihom significa el lugar del Haxöl (es decir, "almejas", específicamente Leukoma grata). En los mapas mexicanos se le llama El Desemboque, refiriéndose a



la “boca del río” (San Ignacio). Nombres y nomenclaturas, usos y significados, esenciales para la vida cotidiana de este pueblo indígena mexicano, son el corazón y alma de este libro.

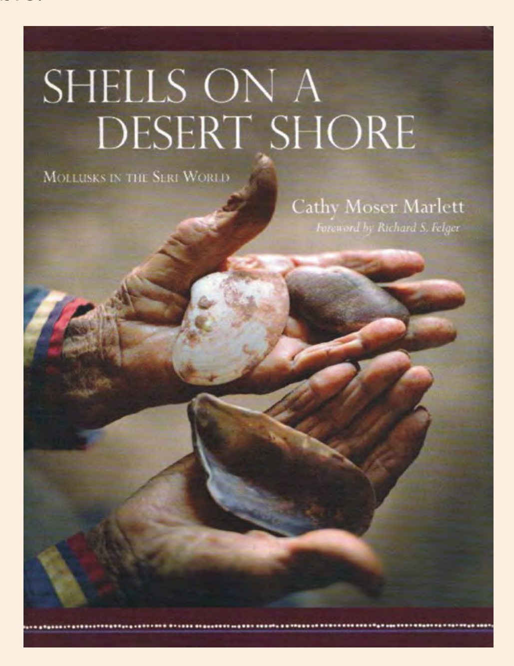


Figura 1. Shells on a Desert Shore: Mollusks in the Seri World.

La información se presenta en tres partes, con ocho apéndices. La parte I, “El Escenario”, introduce al pueblo seri, su lenguaje y su entorno físico, con un resumen histórico de las descripciones previas de los usos de los moluscos por los seris. La parte más formativa para Marlett fueron las décadas que pasó con sus padres, Edward y Mary Beck Moser, viviendo con los seris. Basado en décadas de amistad y conversaciones, sus padres grabaron una gran cantidad de material sobre la lengua y la cultura seri. Además de las entrevistas en extenso de ella, la historia oral del libro también está basada en notas detalladas del padre (escritas en trozos de papel de 3x5 pulgadas) sobre los nombres seris con sus traducciones y breves descripciones en inglés. Ella escribe, “Mi método de investigación consistió principalmente en mostrar las conchas a la gente, tocar algo parece ser la mejor manera de hacer recordar a las personas…casi toda mi investigación se realizó en lengua seri, la cual hablo desde mi infancia” (pp. 13-14). El método de investigación hace este libro único – la etnografía, la lingüística y la información biológica y cultural se obtuvo por un “investigador que conoce la lengua nativa”, no por uno que tuvo que aprender sobre el estilo de vida indígena y el lenguaje como un foráneo.

Parte II, “Moluscos en la cultura seri”, ofrece una visión temática de la etnografía seri, incluyendo temas como la clasificación y nomenclatura (incluyendo ortografía, gramática y significado de las palabras seri), la mitología y el folclore, la comida, los utensilios (ellos no le dieron forma a las conchas para formar cucharas o utensilios para beber, pero sí las utilizaban como éstos), medicina y recreación. El juego favorito de los niños era lanzar conchas de almejas (Chione californiensis) contra un cardón (Pachycereus pringlei), el ganador era quien lograba atorar más en el cactus (Figura 2).



Figura 2. Chione californiensis conchas lanzadas por los niños seri a un cactus cardón (Foto © Cathy Moser Marlett).



Parte III, “Listado de especies”, comprende la mayor parte del texto. La mayoría de las especies descritas son bivalvos (80 especies en 26 familias) y gasterópodos (104 especies en 49 familias), pero también se incluyen especies de quitones, pulpos y otros invertebrados marinos. Todas las especies se ilustran con detallados dibujos en líneas realizados por el autor; la nomenclatura binomial es seguida de una breve descripción de la concha y su distribución o presencia. Se describen los usos conocidos, a menudo en términos personales: “En 1980, Xavier Moreno y otros hombres hacían buceo libre para encontrar la ostra espinosa (Spondylus limbatus) en las áreas al norte de Desemboque…Xavier describió como abrían las conchas bajo el agua con un cuchillo… [y] literalmente para poder bucear con confianza, él decía de antemano que si el bivalvo se cerraba en su dedo, estaría dispuesto y preparado a cortar su propio dedo para poder liberarse” (p. 102).

El gran molusco de color amarillo vívido Laevicardium elatum (con nombre principal seri de: xtiip, sin un significado derivado) fue la concha más utilizada en la cultura seri. Fue utilizada como contenedor de alimento y pigmentos, como herramienta para excavar tumbas o aguas subterráneas, como un cazo para el agua, el vino de frutas de cactus o la mezcla de aceite de tortuga marina con sangre, como una sonaja y por supuesto como alimento (pp. 106-109).

Las mujeres remaban canoas con “callo de hacha” (ej. Pinna rugosa) para cruzar a islas cercanas y cazar pelícanos. Las fibras de Pinna biso (Figura 3) a veces se cosían como pelo en las muñecas de trapo (p. 90).



Figura 3. Muñeca seri con fibras de Pinna biso usadas para el pelo *(Foto © C.M. Marlett)*.

La concha “slipper” (Crepidula onyx) llamada casquim quih iti ihiij, “donde el remador se sienta” (p. 141). El nombre para Plicopurpura pansa se traduce como “medicina tiña”,

por su uso medicinal (p. 153). Pasaban mucho tiempo en la zona intermareal bajo el caliente y brillante Sol de Sonora, por ello cuando encontraron a la brillante babosa naranja-amarilla Berthellina ilisima bajo las rocas, les pareció apropiada llamarla xepenozaah, "Sol en el mar" (p. 170). El caracol burbuja, Bulla gouldiana (Figura 4) fue llamado cacaapxom, "que engorda algo", porque cuando el Dador de Nombres estaba repartiendo los nombres, el caracol le dijo "los engordé" (p. 168). Los niños golpeaban a los caracoles vivos como canicas. El dibujo de 1692 por el jesuita Padre Adamo Gilg retrató el antiguo uso que se les daba como pendientes [5].



Figura 4. Vistas dorsal y apertural de concha Bulla gouldiana *(Dibujo © C.M. Marlett).*

Los Apéndices 1-7 son gráficos lingüísticos, diversamente ordenados para una fácil referencia. El Apéndice 8 es un reconocimiento bibliográfico maravilloso de los consultores de Cathy Marlett, muchos con retratos de estas amables personas.

Conchas en una playa desértica combina la más alta lingüística (gramática, ortografía, pronunciación, entre otras) con la historia cultural y natural para explicar el papel de los moluscos en el mundo seri. Los pies de página contienen información importante y son una lectura en sí mismos. El libro es un poema, una experiencia multi-sensorial de un estilo de vida que está desapareciendo. Numerosas fotografías (históricas y recientes) ilustran a las personas, los lugares y los moluscos.

Sus habilidades artísticas presentan clara y de manera espectacular las complejidades de la morfología de las conchas de los moluscos. Debe tenerse en cuenta que sus dibujos también han aparecido en Personas del Desierto y del Mar: Etnobotánica de los Indios Seri [6] y en el Diccionario Trilingüe Seri [7].

Es un honor revisar este libro; uno de nosotros (HB) ha tenido el privilegio de haber conocido y colaborado con Cathy Marlett.

Conchas en una playa desértica se puede leer de principio a fin o examinarlo selectivamente según algún tema o interés. Hemos hecho ambas cosas. Para cualquiera interesado en las complejas relaciones entre los moluscos y los humanos, la cultura seri, el Golfo de California, o la historia natural de los moluscos, este libro debe de estar en tu librero, pero también debe de ser correctamente leído y bien utilizado. En el mito de la creación de los seri, Conus princeps fue enviado para probar la tierra recién formada para ver si se había endurecido (p. 165). Este libro lo llevará en un viaje igualmente cautivador de descubrimientos.

CITA BIBLIOGRÁFICA DEL LIBRO

Cathy Moser Marlett. 2014. Shells on a Desert Shore: Mollusks in the Seri World. University of Arizona Press. P.O. Box 210055, Tucson, Arizona 85721. 304 pages. ISBN: 978-0-8165-3068-7. Nota: Esta revisión fue previamente publicada en versión inglesa en The Nautilus [1].

BIBLIOGRAFÍA

1) H. Bertsch, Book review: Giving voices to mollusks, a review of Shells on a Desert Shore: Mollusks in the Seri world. Nautilus 128 (3): 101-103. 2014.
2) C.S. Henshilwood, F. D'Errico, K.L. Van Nickerk, Y. Coquinot, Z. Jacobs, S.E. Lauritzen, M. Menn and R. García-Moreno, A 100,000-year-old ochre-processing workshop at Blombos Cave, South Africa. Science 334: 219-222. 2011.
3) J.D. Moore, Extensive prehistoric settlement systems in northern Baja California: archaeological data and theoretical implications from the San Quintin–El Rosario region. Pacific Coast Archaeological Society Quarterly 37 (4): 30-52. 2001.
4) A. Velázquez Castro, La producción especializada de los objetos de concha del Templo Mayor de Tenochtitlan. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México. 2007.
5) H. Bertsch and C. Marlett, The Seris, the sun and slugs: cultural and natural history of Berthellina ilisima and other Opisthobranchia in the central Sea of Cortez. Thalassas, International Journal of Marine Sciences 27 (2): 9-21. 2011.
6) R.S. Felger and M.B. Moser, People of the Desert and Sea: Ethnobotany of the Seri Indians. University of Arizona Press, Tucson. 1985.
7) M.B. Moser and S.A. Marlett (compilers), Comcáac quih yaza quih hant ihiip hac: Diccionario Seri-Español-Inglés. 2nd edition. Hermosillo, Universidad de Sonora; Mexico City, Plaza y Valdés Editores. 2010.





"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

UNIDAD REGIONAL CENTRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

Programa de Doctorado y Maestría en Ciencia de Materiales

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa es formar personal de alto nivel académico y con autonomía para llevar a cabo en forma eficiente las actividades de generación, aplicación y difusión de conocimiento de frontera en el área de Ciencia de Materiales.

Los objetivos específicos son contribuir a la formación de los recursos humanos especializados que el país requiere en Ciencia de Materiales. Desarrollar investigación de alto nivel comprobada a partir de publicaciones científicas de calidad. Participar de manera efectiva en la resolución de problemas tecnológicos que se presenten en el medio social y productivo de la región y el país, en el ámbito de las líneas de investigación del programa.

Programa de Doctorado y Maestría en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

Objetivos del Programa

Formar académicos y profesionales del más alto nivel en ingeniería y sus campos afines, útiles a la sociedad. Promover la práctica profesional de calidad en ingeniería y campos afines. Contribuir a la solución de problemas nacionales. Realizar investigación para generar nuevos conocimientos, métodos y criterios en ingeniería y sus campos afines. Desarrollar tecnología.

Programa de Posgrado en Ingeniería Industrial

Objetivos del Programa

El objetivo general es formar recurso humano orientado a entender, analizar y resolver problemas complejos dentro de organizaciones dedicadas a la producción de bienes o servicios.

Los objetivos específicos son profundizar en el estudio de áreas de interés de la Ingeniería Industrial, acorde a las necesidades que se deseen resolver por parte de la institución y de la sociedad. Hacer énfasis en la aplicación del conocimiento y la tecnología para resolver problemas que afectan la calidad y productividad de las organizaciones que producen bienes o prestan servicios. Impulsar la mejora de la eficiencia y eficacia de las organizaciones sobre todo aquellas consideradas como pequeñas y medianas (PYMES) que permita impulsar el desarrollo del estado y del país.

Programa de Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Civil

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa es formar personal del más alto nivel académico y profesional en el campo de la Construcción y la Valuación, capaz de realizar investigación para generar nuevos conocimientos o desarrollos que contribuyan a la solución de problemas de interés regional y nacional.

Programa de Especialidad en Desarrollo Sustentable

Objetivos del Programa

Formar profesionales con una perspectiva integral de las áreas técnica, administrativa, económica, social, ambiental y ética de acuerdo a los modelos modernos del desarrollo

Programa de Maestría en Sustentabilidad

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa de maestría es coadyuvar con la sociedad en la transición hacia estilos de vida más sustentables, mediante la formación de profesionistas con una perspectiva holística y ética; con los conocimientos y habilidades para planear, implantar y evaluar intervenciones que conlleven a prevenir, eliminar y/o reducir los riesgos e impactos ambientales y ocupacionales en el área de su profesión y/o desarrollo en beneficio de su comunidad.



http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 5M, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-57 y 259-21-58

SOCIEDAD MATEMÁTICA MEXICANA

La Sociedad Matemática Mexicana invita a su

48 Congreso Nacional

www.sociedadmatematicamexicana.org.mx/congreso

18 al 23 de octubre de 2015

INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

UNIVERSIDAD DE SONORA
Campus Hermosillo
Departamento de Matemáticas

INFORMACIÓN congreso2015@smm.org.mx









